



مؤسسة عبد الحميد شومان



مركز دراسات الوحدة العربية

سلسلة تاريخ العلوم العربية (٤)

# موسوعة تاريخ العلوم العربية

الجزء الأول

علم الفلك النظري والتطبيقي

الهيئة • آلات الأظلال والميقات • الجغرافيا الرياضية • علوم البحار

إشراف : رشدي راشد











# موسوعة تاريخ العلوم العربية

الجزء الأول

علم الفلك النظري والتطريفي

تم ترجمة هذه الموسوعة إلى العربية ونشرها

بدعم من المؤسسة الثقافية العربية

ومن مؤسسة عبد الحميد شومان



**مؤسسة عبد الحميد شومان**



**مركز دراسات الوحدة العربية**

**سلسلة تاريخ العلوم العربية (E)**

# **موسوعة تاريخ العلوم العربية**

**الجزء الأول**

**علم الفلك النظري والتطبيقي**

**الحديثة • آلات الأكلال والميقات • الجغرافيا الرياضية • علوم البحار**

**إشراف : رشدي راشد**

**بمماونة : ريجيس مورلون**

الفهرسة أثناء النشر - إعداد مركز دراسات الوحدة العربية  
موسوعة تاريخ العلوم العربية/ إشراف رشدي راشد، بمعاونة ريجيس مورلون.  
٣ ج. - (سلسلة تاريخ العلوم العربية؛ ٤)  
يشتمل على فهارس.

محتويات: ج ١. علم الفلك النظري والتطبيقي. - ج ٢. الرياضيات  
والعلوم الفيزيائية. - ج ٣. الثقافة - الكيمياء - علوم الحياة.  
١. العلوم عند العرب - الموسوعات. أ. راشد، رشدي. ب. مورلون،  
ريجيس. ج. السلسلة.

503

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبر بالضرورة  
عن اتجاهات يتيهاها مركز دراسات الوحدة العربية»

### مركز دراسات الوحدة العربية

بناية «سادات تاور» شارع ليون ص.ب: ٦٠٠١ - ١١٣ - بيروت - لبنان  
تلفون: ٨٦٩١٦٤ - ٨٠١٥٨٢ - ٨٠١٥٨٧  
برقياً: «معرعي» - بيروت  
فاكس: ٨٦٥٥٤٨ (٩٦١١)

---

حقوق الطبع والنشر محفوظة للمركز

الطبعة الأولى

بيروت، ١٩٩٧

## المؤلفون

- وشدي واشد: مدير مركز تاريخ العلوم والفلسفات العربية والعصر الوسيط (المركز القومي الفرنسي للبحث العلمي)؛ مدير أبحاث في المركز الوطني للبحث العلمي - باريس؛ أستاذ في جامعة طوكيو؛ مدير تحرير مجلة العلوم والفلسفة العربية (جامعة كامبريدج)؛ عضو الأكاديمية الدولية لتاريخ العلوم؛ عضو مراسل في مجمع اللغة العربية في القاهرة، وعضو أكاديمية علوم العالم الثالث.

- ريجيس مورلون: باحث في المركز الوطني للبحث العلمي - باريس، ومدير المعهد الدومينيكي للدراسات الشرقية - القاهرة.

- جورج صليبا: أستاذ في جامعة كولومبيا - الولايات المتحدة الأمريكية.

- دافيد كينغ: معهد تاريخ العلوم، جامعة جوان وولفغانغ، غوته - فرانكفورت - ألمانيا.

- هنري هوغونار - روش: مدير أبحاث في المعهد التطبيقي للدراسات العليا - باريس.

- إدوار س. كينيدي: أستاذ في الجامعة الأميركية في بيروت.

- هنري غروسي - غراتج: قبطان إبحارات بعيدة المدى - فرنسا، متوفى.

- برنار ر. غولشتاين: أستاذ في جامعة بيتسبورغ.

- خوان فيرلي: أستاذ في جامعة برشلونة.

- غوليو سامسو: أستاذ في جامعة برشلونة.

- أحمد سعيد سميدان: أستاذ في جامعة الأردن - عمان، متوفى.

- بوريس أ. روزنفيلد: قسم الرياضيات، الجامعة الرسمية - بانسيلفانيا - الولايات المتحدة الأمريكية.

- أدولف ب. يوشكفيتش: عضو أكاديمية العلوم الروسية ورئيس الأكاديمية العالية لتاريخ العلوم.

- ماري تيريز ديارنو: أستاذة الرياضيات في معهد هنري الرابع - باريس.

- أندريه آلار: المؤسسة الوطنية للبحث العلمي (FNRS) البلجيكية، لوفان - بلجيكا.

- جان كلود شابرييه: باحث في المركز الوطني للبحث العلمي - فرنسا.

- ماريا م. ووزنسكايا: أكاديمية العلوم الروسية - موسكو.

- غول أ. راسل: قسم العلوم الانسانية في الطب، جامعة «A & M»، تكساس - الولايات المتحدة الأمريكية.

- دافيد ليندبرغ: قسم تاريخ العلوم، جامعة ويسكونسن - الولايات المتحدة الأمريكية.

- دونالد هيل: أستاذ في يونيفرسيتي كوليدج - لندن، متوفى.

- أندريه ميكال: كوليج دو فرانس (Collège de France) - باريس.

- توفيق فهد: أستاذ في جامعة ستراسبورغ.

- جورج قنواي: مؤسس المعهد الديمينيكي للدراسات الشرقية في القاهرة، متوفى.

- روبرت هالو: أستاذ في جامعة لياج - بلجيكا.

- إميلي سافاج - سميت: معهد وَلَكَم لتاريخ الطب - أوكسفورد.

- دانيال جاكار: مديرة أبحاث في المعهد التطبيقي للدراسات العليا - باريس.

- فرانسواز ميشو: أستاذة في جامعة باريس.

- جان جوليه: مدير أبحاث في المعهد التطبيقي للدراسات العليا - باريس.

- محسن مهدي: أستاذ في جامعة هارفرد - الولايات المتحدة الأمريكية.

## المترجمون

### فريق القراءة في التراث العلمي:

- د. نقولا فارس: قسم الرياضيات، كلية العلوم، الجامعة اللبنانية؛ قسم الرياضيات، جامعة ريمس - فرنسا، والمنسق العام لترجمة موسوعة تاريخ العلوم العربية.
- د. بدوي المبسوط: أستاذ في جامعة باريس (٦).
- د. نزيه عبد القادر المرعي: قسم الكيمياء، كلية الهندسة، الجامعة اللبنانية.
- د. شكر الله الشالوحي: قسم الفيزياء، الجامعة اللبنانية.

### سأهم في الترجمة:

- د. عطا جيتور: عميد كلية الهندسة، الجامعة اللبنانية.
- أ. منى هاتم: أستاذة رياضيات في التعليم الثانوي.
- د. توفيق كرياج: رئيس قسم النظريات الموسيقية في المعهد العالي الوطني للموسيقى - لبنان.
- د. جوزف إليان: قسم الجغرافيا، كلية الآداب، الجامعة اللبنانية.
- د. سيف الدين الضناوي: قسم العلوم الطبيعية - علم النبات، الجامعة اللبنانية.
- د. حنا مراد: طبيب جراح ومدير مستشفى في اببيرون، شامباني - فرنسا.





## المحتويات

### الجزء الأول علم الفلك النظري والتطبيقي

المقدمة العامة .....	١٣
كلمة لجنة الترجمة .....	٢١
ملاحظات حول ترجمة القسم الفلكي من الموسوعة .....	٢٣
✓ مقدمة في علم الفلك .....	٢٥
✓ ٢ - علم الفلك العربي الشرقي بين القرنين	
الثامن والحادي عشر .....	٤٧
٣ - نظريات حركات الكواكب في علم الفلك العربي	
بعد القرن الحادي عشر .....	٩٥
✓ ٤ - علم الفلك والمجتمع الاسلامي .....	١٧٣
✓ ٥ - تأثير علم الفلك العربي في الغرب	
في القرون الوسطى .....	٢٣٩
٦ - الجغرافيا الرياضية .....	٢٦٧
✓ ٧ - علم الملاحة العربي .....	٢٩٣
٨ - إرث العلم العربي في البرية .....	٣٣٩
٩ - تطورات العلم العربي في الأندلس .....	٣٥١
المراجع .....	٤٠٣

**الجزء الثاني**  
**الرياضيات والعلوم الفيزيائية**  
(يصدر في جزء مستقل)

- ١٠ - الأعداد وعلم الحساب ..... أحمد سعيد سعيدان
- ١١ - الجبر ..... رشدي راشد
- ١٢ - التحليل التوافقي، التحليل العددي،  
التحليل الديونتسي ونظرية الأعداد ..... رشدي راشد
- ١٣ - التحديدات اللامتناهية في الصفر، وتربيع الهلاليات  
ومسائل تساوي المحيطات ..... رشدي راشد
- ١٤ - الهندسة ..... بوريس أ. روزنفلد  
أدولف ب. يوشكفيتش
- ١٥ - علم المثلثات: من الهندسة إلى علم المثلثات ..... ماري تيريز ديارنو
- ١٦ - تأثير الرياضيات العربية في الغرب
- في القرون الوسطى ..... أندريه آلار
- ١٧ - علم الموسيقى ..... جان كلود شابرليه
- ١٨ - علم السكون (الستاتيكا) ..... ماريا م. روزنسكايا
- ١٩ - علم المناظر الهندسية ..... رشدي راشد
- ٢٠ - نشأة علم البصريات الفيزيولوجي ..... غول أ. راسل
- ٢١ - الاستقبال الغربي لعلم المناظر العربي ..... دايشيد ليندبرغ
- المراجع .....

**الجزء الثالث**  
**الثقافة - الكيمياء - علوم الحياة**  
 (يصدر في جزء مستقل)

٢٢ - الهندسة المدنية والميكانيكية .....	دونالد هيل
٢٣ - الجغرافيا .....	أنثريه ميكال
٢٤ - علم النبات والزراعة .....	تولفيق فهد
٢٥ - الكيمياء العربية .....	جورج قنواي
٢٦ - استقبال الكيمياء العربية في الغرب .....	روبير هالو
٢٧ - الطب .....	إميلي سافاج - سميث
٢٨ - تأثير الطب العربي في الغرب	
٢٩ - المؤسسات العلمية في الشرق الأدنى	
٣٠ - تصنيف العلوم .....	فرانسواز ميشو
٣١ - تصنيف العلوم .....	جان جوليفه
٣٢ - مقاربات من أجل تاريخ للعلم العربي .....	محسن مهدي
المراجع .....	
الفهارس .....	



## المقدمة العامة

وشلي راشد<sup>(\*)</sup>

منذ أن رأى تاريخ العلوم النور كحقل معرفة في القرن الثامن عشر، أخذ مكانه في القلب من «فلسفة التنوير»<sup>(١)</sup>، لم ينقطع اهتمام فلاسفة ومؤرخي العلوم بالعلم العربي<sup>(٢)</sup> وتوسلهم لدراسته، أو لدراسة بعض فصوله على الأقل. فعمل غرار كوندورسيه، رأى بعضهم في العلم العربي استمراراً لتقدم «الأنوار»<sup>(٣)</sup> في فترة هيمنت فيها «الخرافات والظلمات»؛ أما البعض الآخر مثل مونتكلا خاصة، فقد اعتبر دراسته ضرورة لا لرسم معالم اللوحة التاريخية الإجمالية لتطور العلوم، بل لتثبيت وقائع تاريخ كل من الفروع العلمية. لكن الفلاسفة، والمؤرخين، لم يتلقوا من العلم العربي سوى أصداء حملتها إليهم الترجمات اللاتينية القديمة. وهنا يلزم الاحتراز من إفراط في التعميم أو من خطأ في الرؤية، كما يتوجب التذكير بأن الصلات بين المواد العلمية وتاريخها ليست دائماً متساوية. فعلم الفلك، مثلاً، هو من بين العلوم - الرياضية على الأقل - الأوثق ارتباطاً بتاريخه. إن ضرورة اطلاع الفلكي على قيم أرصداً أسلافه المختزنة في الكتب على امتداد الزمن، تكفي لتفسير وثيقة هذا الارتباط. لذا بدا علم الفلك العربي مميزاً بما ناله من اهتمام مبكر من المؤرخين أمثال كوسين دو پرسيفال (Caussin de Perceval) وديلمبر (Delambre) وخاصة

---

(\*) مدير مركز تاريخ العلوم والفلسفات العربية والمصر الوسيط (المركز القومي الفرنسي للبحث العلمي) وأستاذ في جامعة طوكيو.

قام بترجمة هذه المقدمة العامة نقولاً فارس.

(١) هي الفلسفة التي طبعت القرن الثامن عشر في أوروبا الغربية بحيث ستي هذا القرن نفسه بـ «قرن التنوير». من أعلامها: فولتير، ديدرو، روسو، ومونتسكيو... (لترجم).

(٢) يُقصد بهذا التعبير العلم المكتوب بالعربية، كما يُقصد بتعبير «العلم اليوناني» العلم المكتوب باليونانية، وقس على ذلك.

(٣) انظر الهامش رقم (١) أعلاه.

ج. ج. سيدو (J. J. Sédillot)، هذا إذا اقتصرنا على ذكر علماء فرنسيين من مطلع القرن التاسع عشر.

وما لبثت صورة العلم العربي فيما بعد، في مجرى ذلك القرن نفسه أن تعرضت لتحولات واكتست بشواذب. فالفلسفة الرومانسية الألمانية والمدرسة الفلسفية «اللغوية» التي تولدت منها، أعطت العلوم التاريخية دفعاً قوياً وتوسعاً كبيراً، استفاد تاريخ العلم العربي منه في مرحلة أولى قبل أن يصبح من ضحاياها لاحقاً. فانسجاماً مع هذه الفلسفة نشطت دراسة النصوص الإغريقية واللاتينية بحيث لم يعد بالإمكان الاستغناء عن دراسة المؤلفات العربية<sup>(٤)</sup>. ولكن «دراسة التاريخ بواسطة اللغات»، وهي الاتجاه الفلسفي الذي ركزنا عليه في غير هذا المكان<sup>(٥)</sup>، كانت بمثابة شرك بدأ يحاك معترضاً دراسة تاريخ العلم العربي لحركة تقهقر فعلي. فمن الوجهة «الشرعية» لهذه الفلسفة، فقد العلم العربي حقه في الوجود بينما كان الواقع يفرضه على المؤرخين الذين كان يتزايد رجوعهم إليه.

لم يقتصر وجود هذا التناقض على مؤلفات في الدرجة الثانية من الأهمية فحسب، بل نراه يمتد من البداية إلى النهاية مؤلفاً هائلاً مثل نظام العالم (Système du monde) لبيير دويم (Pierre Duham). إنه، في العمق، تناقض حتمي، فمهما كانت القنوات العقلانية لمؤرخ العلوم، لم يكن باستطاعته تفادي العلم العربي لدى تصديه لوقائع المادة العلمية التي هو بصدد رسم تاريخها. إن هذا للمؤرخ، انسباقاً مع خط عقيدة «الإنتماء الغربي للعلوم»، يستطيع أن يرى في العلم العربي خزاناً حفظت فيه العلوم الهلنستية، أو أن يعتبره، بشكل ما، علماً هلينستياً محدثاً؛ فالعلم، كنظرية، يوناني؛ وهو من حيث التجربة والتطبيق، وليد القرن السابع عشر. أما العلم العربي حسب هذه العقيدة، فقد يشكل حقلاً للتقييد يحفر فيه المؤرخ بحثاً عن آثار الحضارة اليونانية. وغالباً ما أدت ممارسات كهذه إلى تشويه نتائج العلم اليوناني وتلك العائدة للقرن السابع عشر على السواء. وكان هذا التشويه حتمياً؛ فلا بد من التواء السلسلة التاريخية المتواصلة إذا ما ضُمت حلقتان متباعدتان من حلقاتها. كما أدت هذه الممارسات من ناحية أخرى وينسب متفاوتة، إلى هفوات كبيرة لا على صعيد تفسير هذه النتائج وتأويلها فحسب، بل أيضاً على صعيد إدراكها. إن مثل هذه النظرات العقلانية هي التي منعت كارا دو فو (Carra de Vaux) - مترجم النص الفلكي لنصيرالدين

(٤) انظر، مثلاً، مؤلفات: ج. ليبري (G. Libri) وب. بونكومباني (B. Boncompagni) وم. كروتز (M. Cruz) و. ل. هايرغ (L. L. Heiberg).

(٥) رشدي راشد، تأويل الرياضيات العربية بين الحساب والجبر، ترجمة حسين زين الدين، سلسلة تاريخ العلوم عند العرب؛ ١ (بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، ١٩٨٩)، وهو ترجمة عن الأصل الفرنسي: *Entre arithmétique et algèbre: Recherches sur l'histoire des mathématiques arabes* (Paris: Les Belles lettres, 1984).

الطوسي - والتي منعت المؤرخ المعروف بـ (P. Tannery) - الذي يستشهد به - من أن ينتهيا إلى التجديد الذي حواه هذا النص والذي أشار إليه أ. نوجبور (O. Neugebauer) فيما بعد. ولكن مؤرخ العلوم الكلاسيكية تمكن من القطع مع هذه العقيدة. فمع ألكسندر فون هومبولدت (A. Von Humboldt)، رأت النور ممارسة تاريخية أخرى، معاصرة للأولى، حيث - تأثراً بأفكاره - أُلِّى عدد من العلماء على أنفسهم القيام بدراسة مباشرة ومجددة لتاريخ العلوم العربية. نذكر منهم ف. ويكيه (F. Woepcke) ول. أ. سيديو (L. A. Sédillot) اللذين توبعت مهماتهما في ما بعد من قبل نالينو (Nallino) ووايدمان (Wiedemann) وسوتر (Suter) وروسكا (Ruska) وكارينسكي (Karpinsky) وهيرشبرغ (Hirschberg) وكراوس (Kraus) ولوكي (Luckey) ونظيف (Nazif) . . الخ، مما أدى، ابتداءً من خمسينيات هذا القرن، إلى تسارع لم يسبق له مثيل لهذا التيار من البحث التاريخي.

إن هذه الأعمال المتراكمة منذ بضع عشرات من السنين، تفتح الطريق أمام معرفة أفضل لتاريخ العلم العربي وإسهامه في العلم الكلاسيكي. إنها تسمح أيضاً بإدراك إحدى الميزات الأساسية لهذا العلم، وهي ميزة بقيت إلى الآن في الظل. ففي العلم العربي تحقق ما كان يوجد كُموناً في العلم الإغريقي: فما نجده عند العلماء اليونانيين إنما هو جنبياً لتخطي حدود منطقة ما ولكسر طوق ثقافة معينة وتقاليدها ولاكتساء أبعاد عالم بأسره، نراه وقد أصبح واقعاً مكتسباً في «علم تطور حول منطقة البحر المتوسط لا كرقعة جغرافية وحسب، إنما كبقوة تواصل وتبادل لكل الحضارات في مركز العالم القديم وعلى أطرافه»<sup>(٦)</sup>.

«عالمي»، هي صفة بإمكاننا اليوم استخدامها لوصف العلم العربي. إنه عالمي بمصادره ومنابعه، بتطوراته وامتداداته. وعلى الرغم من أن هذه المصادر هي يونانية غالباً، إلا أنها تجوي كتابات سريانية وسنسكريتية وفارسية. ويدعي ألا تتعادل هذه الإسهامات من حيث تأثيرها، إلا أن تعددتها كانت أساسية في تكوين العلم العربي. وحتى في مجال الرياضيات حيث يمكن من دون أي حرج نعت العلم العربي بـ «فوريث» العلم اليوناني، يتعين على المستقصي عن الفهم بالعمق، العودة إلى المصادر الأخرى. ففي الفصل المتعلق بعلم الفلك، سنرى مثلاً، أهمية الجلود الهندية والفارسية التي لا تطال علم فلك الأرصاد والحسابات فحسب، إنما تتعداه إلى مجال تصور التشكيل الجديد لعلم الفلك البطلمي.

وهنا، ضمن هذا الإطار الجديد، مهما بلغت أهمية نقل النتائج العلمية، فلها لن تصل إلى مستوى تلك التي يرتقيها إفساح المجال أمام اشتراك، واندماج، تقاليد علمية مختلفة غدت موحدة تحت قبة الحضارة الإسلامية الواسعة. الجديد في هذه الظاهرة أنها لم تعد

(٦) المصدر نفسه.

ثمرة صدف لقاهات أو نتاج مرور منتظم أو غير منتظر لقوافل أو لبخارة؛ إنها النتيجة للتعلمة لحركة ترجمة كتيبة، علمية وفلسفية، قام بها محترفون - في نوع من التنافس أحياناً - مدعومة من السلطة ومدفوعة بالبحث العلمي نفسه، مؤلفة مكتبة تتناسب مع حجم عالم تلك الحقبة. وهكذا غدت تقاليد علمية مختلفة الأصول واللغات عناصر من حضارة لغتها العلمية هي العربية، وأصبحت تمتلك وسائل تأثير فيما بينها مكنتها من التوصل إلى طرق جديدة، بل أحياناً إلى حقول علمية جديدة (انظر مثلاً الفصل الحادي عشر: الجبر). إن الدراسة الاجتماعية للعلم العربي لا بد من أن توضح لنا في يوم ما، دور المجتمع والمدينة الإسلامية في هذه الحركة التاريخية. عند ذلك قد نستطيع أن نفهم كيف تمكنت من الالتقاء والتزاوج، تيارات علمية كانت مستقلة إلى ذلك الحين.

إن هذه السمة التي طبعت المراحل الأولى من العلم العربي، استمرت تتأكد فيما بعد. فلقد تابع علماء القرنين الحادي عشر والقرن الثاني عشر مناقشة النتائج التي تم التوصل إليها في الأماكن الأخرى وفي توسيعها ودجها في بنى نظرية، غالباً ما كانت غريبة عن حقولها الأصلية. إن هذه الظاهرة التي نلاحظها في الطب وعلوم العقاقير والكيمياء، تطال أيضاً العلوم الرياضية كما تشهد على ذلك مؤلفات البيروني أو أعمال السموأل فيما بعد حول الطرق الهندية للاستكمال التريبيعي أو الصياغة التي قدمها ابن الهيثم لمبرهنة البقية الصينية في نظرية الأعداد.

فلقد بات من الممكن، مع العلم العربي، أن نقرأ في لغة واحدة، ترجمات الإنتاج العلمي القديم والأبحاث الجديدة على السواء. وكانت هذه القراءة تتم في سمرقند كما في غرناطة مروراً ببغداد ودمشق والقاهرة والرمو. وحتى عندما كان العالم يكتب بلغته الأم، خاصة بالفارسية - مثل النسوي أو نصير الدين الطوسي - كان يقوم بنفسه بنقل مؤلفه إلى العربية. باختصار، ابتداءً من القرن التاسع كان للعلم لغة هي العربية؛ حتى إن هذه اللغة بدورها أخذت تبدأ كونياً؛ فلم تعد لغة لشعب بل لعدة شعوب، ولا لغة لثقافة معينة إنما لغة كل المعارف. وهكذا فتحت معابر لم تكن موجودة من قبل، تسهل الاتصال المباشر بين المراكز العلمية المنتشرة ما بين حدود الصين والأندلس، كما وتسهل التبادل بين العلماء. ولا بد، في هذا المجال، من التأكيد على نوعين من الممارسات عرفا انطلاقاً لم يسبق أن حدث مثيل لها. أولى هذه الممارسات هي الأسفار العلمية كوسيلة للتعلم والتلقين، يدل عليها ما سجله أصحاب كتب الطبقات حول سير بعض العلماء وتنقلاتهم: ابن الهيثم بين البصرة والقاهرة، ابن ميمون بين قرطبة والقاهرة؛ شرف الدين الطوسي بين طوس ودمشق مروراً بهمدان والموصل وحلب... أما النوع الثاني من الممارسات فتجلى في المكتبة والمراسلات العلمية التي شكلت أداة لتعاون العلماء ونشر الأبحاث وأصبحت لوناً جديداً من ألوان الأدب له استخداماته كما له معاييرها الخاصة. هذا العلم



العالمي قياساً على أبعاد عصره كان يتقدم، إذن، محاطاً بموكب من التحولات. فالعلاقات بين التقاليد العلمية القديمة تمدلت، وتغيرت محتويات المكتبة العلمية؛ أما حركة العلماء والأفكار فعدت أنشط بما لا يقاس عما كانت عليه في السابق.

إن بقاء هذه السمة في الظل وعدم التنبيه إليها من قبل المؤرخين، رغم تمتعها بهذا المستوى من الأساسية ومن الوضوح أيضاً، لأمرٌ من شأنه أن يثير الدهشة. ومن الطبيعي هنا إرجاع الأمر إلى النظرة الموارية لایدیولوجية تاريخية ترى في العلم الكلاسيكي فعلاً للإنسانية الأوروبية فحسب. لكن، إلى هذا يجب لحظ اعتبارين، يعود أولهما إلى تاريخ العلوم والثاني إلى الكتابات في هذا التاريخ. نبدأ، من جهة أولى، بالروابط المميزة التي توحد بين العلم العربي وبين امتداداته اللاتينية، ويشكل عام بينه وبين العلم الذي تطور في أوروبا الغربية حتى القرن السابع عشر؛ وفي الواقع، لا يمكن فهم شيء من العلم اللاتيني بدءاً من القرن الثاني عشر من دون أن تؤخذ بالاعتبار الترجمات اللاتينية التي حصلت انطلاقاً من العربية. إن الأبحاث الأكثر تقدماً في اللاتينية، مثل أبحاث فيبوناتشي (Fibonacci) وجوردان دو نيمور (Jordan de Nemour) في الرياضيات، وتلك المعادلة إلى ويتلو (Witelo) أو ثيودوريك دو فريبيرغ (Théodoric de Freiberg) في البصريات... لا يمكن أن تُقدّر حق قدرها إذا لم نرجع إلى الخوارزمي وأبي كامل وابن الهيثم. إن هذه الروابط الوثيقة أسرت أنظار المؤرخين تاركة في الظل العلاقات التي توحد بين العلوم العربية وتلك المعادلة للجزء الآخر من العالم، الهند والصين. أما الاعتبار العائد للكتابات التاريخية فهو المتمثل باستملاء علم القرن السابع عشر. هذا العلم الذي اعتبر - بغير حق - سبباً واحداً وثنوياً من البداية إلى النهاية، بلغ في كتابات المؤرخين تسامياً يتناقى مع التاريخ كعلم، بحيث جعل المرجع المطلق الذي تتحدد بالنسبة إليه مواقع ومكانات العلوم السابقة. إن هذا التعالي المطلق صيغ كإحدى المصادرات البهيمية في غياب المعرفة الصحيحة لأعمال مدرسة مراغة وما سبقها في علم الفلك وأعمال الخيام وشرف الدين الطوسي في الجبر والهندسة الجبرية وكتابات الرياضيين في المنتهيات في الصفر من ابن قرة إلى ابن الهيثم... لذلك كان من الطبيعي أن يحفر هذا التعالي فراخاً قبل الأعمال العلمية للقرن السابع عشر مكيناً العلم العربي طامساً معاله الأبرز.

وليس من شأن الإلمام الجيد بالعلم العربي النيل من مكانة تجديد كبلر في علم الفلك وغاليليو في علم الحركة وفيما في نظرية الأعداد؛ بل على العكس من ذلك، فإنه يساعد على تجديد موقع هذا التجديد بمزيد من الدقة، بالبحث عنه حيث هو، لا في مكان آخر كما هو الحال غالباً. إن تقدم هذه المعرفة يقودنا إلى استيعاب أعمق وأدق للنشاطات العلمية التي عرفها ذلك القرن العظيم والقرن الذي سبقه. إنه يمتنا على إعادة النظر في بعض التصورات وفي بعض الطرق التي اعتمدت في رسم التاريخ، كما يرد عنا مفاهيم مشكوك في صحتها، ويشكل خاص مفهوم «النهضة العلمية»، ويمتتنا على إدراك الطبيعة

التناقضية لمفاهيم أخرى مثل مفهوم «الثورة العلمية». إلا أن على العلم العربي أن يستعيد الطابع الكوني وهو طابعه الأساس، وهو ما يستوجب علينا تتبع هذا العلم في امتداداته اللاتينية والإيطالية كما في امتداداته العبرية والسنسكريتية والصينية، بالإضافة إلى منجزاته في لغات الحضارة الإسلامية وخاصة في الفارسية. وأخيراً، من أجل معرفة واقية بالعلم العربي، لن يكون هناك بدّ من إرجاع هذا العلم إلى إطاره، إلى المجتمع الذي رأى فيه النور بمستشفياته ومرافده وجوامعه ومدارسه. . . فكيف يمكن فهم تطوراتها إذا غابت عن بالنا المدينة الإسلامية ومؤسساتها ووظيفة العلم فيها وأهمية الدور الذي استطاع أن يلعبه. إنه لتفكير ضروري لن يلبث أن يبدد آراء خذاعة وليدة الجهل، متأصلة إلى يومنا، ما زالت تقوقع العلم ضمن هامشية مزعومة حول تحوم هذه المدينة أو ترصد انحطاطاً علمياً وهماً ابتداءً من القرن الثاني عشر كتجيبة لردة كلامية دينية متخيلة.

بهذا الثمن فقط يحقق تاريخ العلم العربي مهمته الأساسيتين: فتح الطريق أمام فهم حقيقي لتاريخ العلم الكلاسيكي بين القرنين التاسع والسابع عشر، والإسهام في معرفة الثقافة الإسلامية نفسها، وذلك بأن يعيد لها بعداً ما انفك من أبعادها، هو بعد الثقافة العلمية.

إن هذا الكتاب ضمم وشقق لكي يكون لبنة في صرح نعاون في بنائه، يتمثل في كتابة تاريخ العلم العربي انسجاماً مع المتطلبات التي عبرنا عنها فيما سبق من أسطر. إنه في الواقع، تركيب أول لم ينفذ مطلقاً من قبل في هذا المجال وبهذه النظرة. لقد أضفى هذا التركيب ممكناً اليوم نتيجة الأبحاث التي ما زالت تتراكم منذ القرن المنصرم، والتي نشطت بدءاً من خمسينيات القرن الحالي. وقد التمسنا إسهامات ذوي الاختصاص في كل من الفصول المختلفة لإنجاز هذا التركيب، يتوجهون بها إلى جمهور واسع، مثقف يتجاوز الإطار الضيق لزملائهم، لكن دون الوصول إلى حد التبسيط؛ فما طلب منهم هو كتاب مرجعي حق. ولقد ابتدئنا أن نعيد إلى العلم العربي اعتباره وموقعه معطين الأفضلية لتحليل للمصادر القديمة ومخصصين فصولاً لامتداداته اللاتينية والعبرية. ونتيجة لعدم توفر الاختصاصيين، غابت الفصول التي تتعلق بالامتدادات الأخرى. إن القارئ سيجد نفسه أمام كتاب في تاريخ العلم على امتداد حوالي سبعة من القرون.

ولكن التركيب، وخاصة إذا كان الأول، لا يمكن أن يسبق البحث الفعلي. ومثل هذا البحث يلزمه الكثير لكي يصل إلى مستويات متساوية في مجالات العلم المختلفة. لذا غاب بعض فصول العلم العربي وخاصة تلك المتعلقة بعلوم الأرض والحياة. ومن ناحية أخرى، أقرنا العمل في العمق على الرغم من كل ما يرافقه من نواقص على عمل يدعي شمولية لا بد من أن تأتي سطحية ووهية. نشير أخيراً إلى أننا استدعينا من الضمانات والاحتياطات ما هو ممكن بشرياً خلال فترة القيام بهذا العمل بحيث أعيدت قراءة كل

فصل من قبل اختصاصيين اثنين آخرين من داخل لجنة المشاركين في التأليف أو من خارجها. ومن بين هؤلاء لا بد من أن أخص بالشكر ج. فيتامين (J. Vuillemin) وج. سيمون (G. Simon) وهـ. رويكت (H. Rouquette) وإ. پول (E. Poulle) وس. مقون (S. Matton) وس. هوزل (C. Houzel) وك. شملا (K. Chemla). وأخص أيضاً بالشكر أ. فون هوا (A. Von Hoa) وس. شميترز (C. Schmitz) وس. روزنبرغ (S. Rosenberg) وباتي (Paty) وم. ريبوديير (M. Rebaudière) وب. دومو (B. Demaux) وس. بارب (C. Barbe) الذين نقلوا بعض الفصول إلى الفرنسية. وأتوجه بشكري أخيراً إلى السيدة أ. أوجيه (A. Auger) التي حضرت المخطوطات وأعدت الفهارس والمراجع.



## كلمة لجنة الترجمة

لا بد للذين نقلوا هذا العمل إلى العربية من قول كلمة فيه. ولكننا لا نقولها تمثيلاً مع التقليد، بل تسجيلاً للملاحظات نسوقها باعتبارنا من أوائل قرائه.

نتمنى على القارئ أن يبدأ أولاً بالمقدمة العامة لرشدي وشد، ومن ثم بتعليق محسن مهدي. ويجوز أن نقرأ النهاية قبل صدر الكتاب؛ ذلك لأن العمل مجموعة من عدة مواضيع كتبت بشكل يسمح بقراءة غير متسلسلة، بما يشبه الأعمال الموسوعية.

وقد شجعنا على نقل هذا العمل بالذات تلك الأسماء التي شاركت في وضعه؛ وهي أسماء معروفة بمرجعيتها، من ميزاتنا أنها لا تنتمي إلى مدرسة واحدة، بالإضافة إلى أنها تتوزع على أحرق الجامعات ومراكز الأبحاث المعروفة حالياً. لذا فإن صفة الموسوعية التي يتسم بها هذا العمل تأتي أيضاً من كونه يتناول مواضيع مختلفة بألوان فكرية وأساليب مختلفة.

لكن القارئ لن يجد فيه الأسلوب السردي المريح الذي تعمد أن يجده في الموسوعات، أو الذي يجعل منه كتاباً يرافق الوسادة، ناعم المقاربة، سهل التسليم. إلا أنه، وبالمقابل، لا يتوجه فقط إلى الباحثين. والمتعة التي سيجنيها القارئ للتيقظ ستفوق، ولا شك، كمية الجهد والتركيز التي سيضطر إلى القيام بها.

إن الدراسات التي حوّاها هذا المؤلف، والتي تعدت إطار العموميات لتقدم آخر ما وصلت إليه الأبحاث التاريخية، لن تتمكن من الإجابة بشكل شافٍ عن أسئلة القارئ؛ ولن يكون بإمكانها ذلك مهما بلغ حجمه. ونظن أن هذا الفريق من المؤلفين سيكون قد نجح في أداء مهمته إذا ما استثار الكمية القصوى من أسئلة القارئ؛ والأجوبة موجودة ولا شك؛ ظاهرة أو كامنة، في المراجع المذكورة المؤلفة حديثاً، أو في المخطوطات العديدة التي استندت إليها أبحاثهم. إن إثارة دوافع للبحث التاريخي، نقداً وإكمالاً ودعماً إلى أبعد مما حوّاها المؤلف، في السعة وفي العمق، هو أيضاً أحد الأهداف من وراء ترجمته، على أمل أن يكون ما نقوم به بداية، بالنسبة إلينا وإلى زملاء لنا أساتذة وطلاباً. نقول بداية، لا تناسياً لأعمال قيمة متفرقة سبقت، بل لنؤكد ضرورة المتابعة. فالوعي لحاضر المجتمع شرط ضروري لاختيار المسالك التي تؤدي إلى لحاقه بالمسيرة العلمية للعالم؛ ولن يحصل هذا الوعي فقط من خلال دراسة تجارب وفلسفات علماء الغرب على الرغم من ضرورتها القصوى وقيمتها الهائلة. ونظن أن هذا الوعي يكون أعمق وأوضح وأدق إذا ما

اقرن بوعي لتاريخ، مجتمعتنا الحاضر هو إلى حد بعيد امتداد له.

وهذا التاريخ ليس فقط الحلو من الكلام، والرقيق من الشعر، والسامي من المثل، والشارق من البطولة أو الصافي المخلص من الإيمان. إنه أيضاً، وبدرجة أساسية، القاسي من العلم، الصعب من الدرس والبحث، والمشح من المعرفة. لقد استقى أسلافنا العلم من الهند والصين إلى اليونان وأضافوه إلى إرث اليمن ومصر وأنطاكية وبلاد بابل، وترجموا وهضموا وطوروا واخترعوا بحيث أضفى عليهم علم العالم على امتداد سبعة قرون ولغتهم لغة علم العالم. ولا شك في أن من يسوق هذا الكلام افتخاراً واكتفاء أشد ضرراً عن يسوقه حسرةً وبأساً بسبب حاضر يذفع إلى ذلك فعلاً. إلا أن دراسة هذا الجانب المشرق من التاريخ قد تشكل دعوة لتجنب اليأس ولثقة في مستقبل، كما قد تشكل فرصة للكشف عن مواضيع علمية لا زالت مؤهلة؛ ولتقل إن أقل ما ينتج عن هذه الدراسة هو استرجاع وتركيز القاموس والمصطلحات العلمية، أي الوعاء والخزان والأدوات التعبيرية التي يلزم إعدادها لاحترام ما سبيلته المجتمع وما سبيلته. والحديث عن أدوات التعبير يدعونا هنا للإشارة إلى أن أيًا من أعضاء الفريق المترجم لم يسبق له أن درس العلم أو قام بتدريسه بالعربية، لغته الأم؛ لذا لا بد من ملاحظة ما كان بالنسبة إلينا اكتشافاً في هذا المجال، ألا وهو غنى اللغة العربية الفعلي بالمصطلحات والتركيب ومرورها وإمكانية ضغطها، أفعالاً وحروفاً للتعبير بالدقة والاقتضاب المطلوبين من القضايا العلمية. ولا بد من انعكاس سلبى لتجربة لنا حديثة في الكتابة العلمية بالعربية؛ إلا أننا نأمل التعميـض من الهفوات اللغوية بالمزيد من التدقيق في معاني الجمل العلمية.

ونقص آخر أكيد لا زال يميز في نفوسنا، هو ذلك المتعلق بالاستشهادات أو بتناوين الكتب أو بالأسماء، العربية في الأصل، التي تناولها المؤلف بالأجنبية، وكان علينا إعادة نقلها إلى العربية. ولقد استطعنا خلال عناء استهلاك من الوقت مما استهلك أعمال الترجمة أن نحصل على قسم كبير من هذه المعطيات كما صيغت في الأصل. وهنا لا بدّ من تسجيل الشكر للأب ريجيس مورلون الذي لم ييـخل علينا بأي مساعدة في هذا المجال. إلا أن قمساً لا يستهان به استعصى، بحيث اضطررنا إلى «ترجمة بتصرف»، احتراماً لمواعيد الطباعة ولظروفها الملزمة. وما زاد الصعوبة في هذا المجال وفاة خمسة من المؤلفين: أدولف ب. يوشكيفيتش، دونالد هيل، هنري غروسي - غرانج، أحمد سعيد سميدان وجورج قنواي؛ أضف إلى ذلك أن العديد من هذه الاستشهادات (والعناوين والأسماء) لم يأخذها مؤلفوها عن أصلها العربي إنما إجمالاً عن ترجمات لاتينية لهذا الأصل. نترك القارئ على رجاء أن نرى تاريخنا يُكتب بالعربية، ومن ثم يُترجم إلى باقي اللغات. كما نتركه على رجاء آخر هو أن يكتب إلينا بكل ما قد يفيد من نقد وإصلاح وملاحظات.

فريق القراءة في التراث العلمي

## ملاحظات حول ترجمة القسم الفلكي من الموسوعة

لقد واجهنا في بداية ترجمة هذا القسم الخاص بتاريخ الفلك العربي مسألة اختيار المصطلحات الفلكية. وكما سيرى القارئ، في الفصل الأول من الموسوعة، أصبحت اللغة العلمية العربية متكاملة في النصف الثاني من القرن التاسع، حيث تكونت مصطلحاتها بشكل نهائي واستمر استخدامها خلال قرون عديدة. وهكذا نجد في المخطوطات العربية الخاصة بعلم الفلك المصطلحات الفلكية القديمة التي وضعت في ذلك العصر، أي منذ أكثر من عشرة قرون. بعض هذه المصطلحات أصبح الآن غير مستخدم أو تغير مدلوله، والبعض الآخر ما زال صالحاً واحتفظ بالمدلول نفسه حتى اليوم. ولقد أدت المناقشات التي أجريت مع المؤلفين الأب ريجيس مورلون والأستاذ جورج صليبا إلى الاتفاق في أكثر الأحيان على اختيار المصطلحات الملائمة لكل حالة.

وهكذا فإن كلمة كوكب استُخدمت لتدل على نجم أو كوكب بشكل عام، لأن العلماء الأقدمين لم يميزوا بين الكواكب والنجوم كما هي الحال في العصر الحديث.

لقد ورد اسم بطليموس، العالم الفلكي اليوناني، في المخطوطات العربية القديمة على شكل بطلميوس، لأن لفظ هذه الكلمة الأخيرة أقرب إلى اللفظ اليوناني من لفظ الكلمة الأولى. وهذا ما يجعل تبني كلمة بطلميوس أفضل من تبني كلمة بطليموس الشائعة حالياً لأسباب غير معروفة.

ولقد استخدمنا عبارة «حركة مستوية» بدلاً من عبارة «حركة منتظمة» الشائعة حالياً نظراً لاستخدام العبارة الأولى في المخطوطات العربية القديمة.

أما عبارة «المستوي»، المستخدمة حالياً للدلالة على «السطح المستوي» فلقد استخدمناها بدلاً من كلمة «السطح» التي وردت في المخطوطات العربية، والتي تستخدم حالياً بمعنى أشمل. وذلك لتجنب الالتباس بين «السطح المنحني» و«السطح المستوي». ولقد استخدمنا أيضاً كلمتي «الأوج» و«الحضيض»، بدلاً من العبارتين «البعد الأبعد» و«البعد الأقرب» اللتين وردتا في أوائل المخطوطات العربية.

ولم تكن هناك ضرورة، من ناحية أخرى، لتغيير عبارة «نقطة المحاذاة» التي ما زالت صالحة منذ القرن التاسع الميلادي. وكذلك هي الحال بالنسبة إلى عبارات «الانحراف» و«التواء» و«مبادرة الاعتدالين»... الخ.

أما كلمة فلك فهي تدل بمعناها الحالي على مسار جسم سماوي، بينما كانت تدل على الكرة «التي تحرك هذا الجسم» بحركة مستوية حول محور يمر بمركز الكرة، كما كانت تدل أيضاً على دائرة التقاطع بين هذه الكرة والمستوي العمودي على المحور.

ويجب أن نذكر بأن نجوم كل مجموعة من النجوم تُرتَّب تبعاً لعظمتها الظاهرية، أي تبعاً لمقدار النور الذي يصلنا منها. وتسمى هذه النجوم تبعاً لهذا الترتيب بأحرف الأبجدية. وهكذا نسمي النجم الأكثر إضاءة في مجموعة الدب الأصغر أ - الدب الأصغر، ويليه النجم ب في المرتبة الثانية ثم ج ود...

أما فصل «علم الملاحة العربي»، فقد طرأت ظروف قاهرة منعت من إتمامه بشكل نهائي من قبل المؤلف غروشي - غرائج الذي توفي سنة ١٩٩٠. وكان هذا المؤلف بحاراً ماهراً ومطلعاً في الوقت نفسه على المخطوطات العربية التي زاد عددها على الأربعين والتي كتبها ابن ماجد والمهري قبل ما يقرب من خمسة قرون. ولذلك لم يتم الحصول على تفاصيل المراجع بشكل مرض، وصُحِّب التحقق من النصوص العربية الأصلية لبعض الاستشهادات التي قام بها المؤلف، فهي مبعثرة في المخطوطات العديدة التي يصعب الاطلاع عليها في وقت محدود. وهكذا اكتفينا، كلما تعلل الحصول على النص العربي الأصلي، بإعطاء مضمونه، استناداً إلى النص الفرنسي للمؤلف، دون أن نضعه بين هلالين مزدوجين.



## - ١ -

### مقدمة في علم الفلك

ريجيس مورلون (\*)

كان الاهتمام بعلم الفلك متواصلاً في المنطقة الثقافية العربية منذ نهاية القرن الثاني الهجري، الثامن الميلادي؛ وأول ما يستدعي انتباه من يبدأ بالاهتمام بهذه المسألة هو الجانب الكمي: عدد العلماء الذين اشتغلوا في علم الفلك النظري، عدد المؤلفات التي كتبت في هذا الميدان، عدد المراسد الخاصة والعامة التي تتالت في نشاطها، وعدد الأرصاد الدقيقة التي سجلت ما بين القرنين التاسع والخامس عشر.

ستعرض في هذا القسم كله لعلم الفلك كعلم صحيح فحسب من دون أن نثير مسألة التنجيم. وفي الواقع، إذا كان نفس المؤلفين قد وضعوا في بعض الأحيان كتباً في كلا الموضوعين، فإن هؤلاء لم يخلطوا أبداً في نفس الكتاب بين الاستدلالات الفلكية المحضة والاستدلالات التنجيمية المحضة، وكانت عناوين الكتب تدل في أكثر الأحيان من دون التباس على محتواها المتعلق بأحد الموضوعين.

يشار إلى الدراسات الفلكية، بشكل رئيس، بمصطلحين: «علم الفلك» أي «علم المدار السماوي»، و«علم الهيئة» أي «علم بنية الكون». بالإضافة إلى ذلك، يسمى العديد من الكتب الفلكية بـ «الزيج»، وهي كلمة فارسية الأصل تترادف كلمة «kanon» اليونانية، وذلك عندما تتكون هذه الكتب من مجموعات جداول لحركات الكواكب، مقدمة بعرض لرسم تخطيطية تسمح بتركيبها؛ ولكن كلمة «زيج» تستعمل غالباً كمصطلح عام لتسمية

---

(\*) باحث في المركز الوطني للبحث العلمي - باريس، ومدير المعهد الدرمينيكي للدراسات الشرقية -

القاهرة.  
قام بترجمة هذا الفصل بدوي للبوط.

## مؤلفات الفلك الكبرى المحترقة على جداول<sup>(١)</sup>.

كانت كلمة «كوكب»، «كواكب»، مستعملة في علم الفلك، في حين كانت كلمة «نجم»، «نجوم»، تُستعمل بنفس المعنى بمفهوم تنجيمي، واشتُقَّت منها تعابير: «علم أحكام النجوم»، «صناعة النجوم»، «التنجيم»...<sup>(٢)</sup> ولكن عبارة «علم النجوم» استعملت لتشمل أيضاً علم الفلك والتنجيم معاً كنهجين مختلفين للدراسات الفلكية<sup>(٣)</sup>.

أما الآن، في العصر الحديث، فإن كلمة نجم أو نجمة تُستعمل للدلالة على جرم سماوي كبير مضيء بنفسه، بينما تدل كلمة كوكب على جسم سماوي سيار، أصغر حجماً من النجمة، يدور حول نجمة ويتلقى منها النور. أما الأجسام الصغيرة التي تدور حول الكواكب فتسمى بالأقمار.

ولكننا، في هذه الدراسة التاريخية، سنستعمل كلمة كوكب، كواكب للدلالة على الأجرام السماوية بشكل عام، كما جرى التقليد على ذلك عند علماء الفلك القدامى.

وكانت توجد في شبه الجزيرة العربية وفي كل الشرق الأدنى القديم منذ زمن بعيد تقاليد في رصد السماء؛ أحد هذه التقاليد جذير بالذكر لأننا نعرفه جيداً، إذ إنه اقتبس بعد ذلك فيما سماه الفلكيون العرب: «الكتب في الأنواء».

ترمز كلمة أنواء، ومفردها نوء، إلى مجموعة لنظام حساب الأعياد المتعلق برصد البروزغات الشروقية والأنولات الشروقية لبعض مجموعات من الكواكب، مما يسمح بتقسيم السنة الشمسية إلى فترات محددة. وكان ظهور بعض الكواكب على الأفق حسب فترات

---

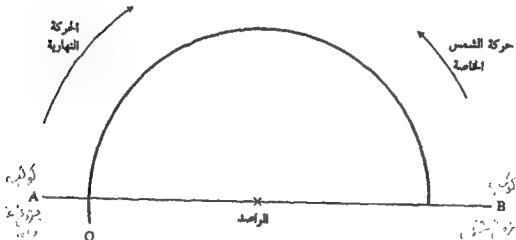
(١) انظر مثلاً كتاب البتاني للمهم: *Albatagnius, Al-Battānī, sive Albatēnī Opus Astronomicum* (al-Zī/al-Ṣābī'), édition du texte arabe, traduction latine et commentaire par Carolo Alphonso Naffino, Pubblicazioni del Reale osservatorio di Brera in Milano, I-III, 3 vols. (Milano: Mediolani Insubrum, Prostat apud U. Hoeplium, 1899-1907), réimprimé en 1 vol. (Hildesheim; New York: G. Olms, 1977).

أو: أبو الریمان محمد بن أحمد البیرونی، القانون المسعودي، صحح عن النسخ القديمة الموجودة في المکتب الشهيرة، تحت إھانة وزارة معارف الحكومة العالیة ھنلیة، ٣ ج (حیدر آباد الدکن: مطبعة مجلس دائرة المعارف العثمانیة، ١٩٥٤ - ١٩٥٦)، حیث تستعمل اللفظة الیونانیة، وھما مذكران فی الفصل القادیم.

(٢) انظر مقالة رشدي راشد حول كلمة «متجم» في: *Diophante, Les Arithmétiques*, vols. 3 et 4, édition et traduction du texte arabe par Roshdi Rashed, collection des universités de France (Paris: Les Belles lettres, 1984), vol. 3, pp. 99 - 102.

(٣) انظر مثلاً: *Abū 'Abd Allāh Muḥammad Ibn Ahmad al-Kuwārizmī, Liber maṣā'ih al-aḥlām*, explicans vocabula technica scientiarum tam arabum quam peregrinorum, auctore Abū Abdallāh Mohammed Ibn Ahmed Ibn Jūsuf al-Kātib al-Khwarezmī, edidit et indices adiecit G. Van Vloten (Lugduni - Batavorum: R. J. Brill, 1895), réimprimé (Leiden: E. J. Brill, 1968), p. 210.

السنة، يُعتبر منبثقاً بظواهر مناخية لتغير الطقس، حتى ان كلمة نوء أخذت معنى المطر أو العاصفة. ولندكر بسرعة بما يعنى بالبزوغات والأفولات الشروقية للكواكب الثابتة على الشكل رقم (١ - ١) الذي هو مسقط تقريبي على المتسامتة الأولى لمسار الشمس الظاهري. فالخط AB هو أثر أفق المكان، والنقطة O هي موضع الشمس تحت الأفق قبل شروقيها، بحيث يكون الكوكب الموجود في النقطة A والقريب من فلك البروج، على حد قابلية الرؤية عندما يبرز، ويكون الكوكب الموجود في النقطة B على حد قابلية الرؤية عندما يأفل، تبعاً لضائية السماء على الأفق تماماً قبل شروق الشمس. في هذه الحالة، يكون الكوكب A في وضع البزوغ الشروقي ويكون الكوكب B في وضع الأفول الشروقي. وفي اليوم التالي، ويسبب «الحركة الخاصة الظاهرية للشمس» (حوالي درجة واحدة يومياً)، تكون الشمس أكثر بعداً عن الأفق، عندما يكون الكوكبان A وB في نفس الوضع، ويصبح هذان الكوكبان أوضح رؤية لأن الأفق يصبح أقل إضاءة. وبعد ستة أشهر تقريباً، يتبادل A وB وضعيهما فيصبح B في حالة بزوغ شروقي ويصبح A في حالة أفول شروقي.



الشكل رقم (١ - ١)

كانت مراقبة هذه الظواهر لمجموعات معينة من الكواكب، تسمح، في البدء، بتقسيم السنة الشمسية إلى فترات محددة عددها ثمان وعشرون على الأرجح. وقد اندمج نظام حساب الأعياد هذا، بعد القرن الثامن وتحت تأثير تقاليد فلكية هندية، مع نظام «منازل القمر» الثمانية والعشرين، وهي مجموعات من الكواكب الثابتة القريبة من فلك البروج، تفصل بين مناطق السماء التي يوجد فيها القمر بالتتابع ليلة بعد ليلة في غضون الشهر القمري. إن مؤلفات الأتواء التي كتبت ابتداء من القرن التاسع، هي عبارة عن تقاويم تعطي أوقات البزوغ والأفول لكواكب منازل القمر، مع الظواهر المناخية المتعلقة بها.

وهكذا تنقسم السنة إلى ثمان وعشرين فترة من ثلاثة عشر أو أربعة عشر يوماً<sup>(٤)</sup>.

لقد أعاد الفلكيون العرب الأخذ بهذا التقليد القديم الذي كان في الأصل تجريئاً، على مستوى علمي في نطاق دراساتهم لظهور واختفاء الكواكب على الأفق إبان الغسق والسحر، متخذين جزئياً كقاعدة للعمل، كتاب في ظهور الكواكب الثابتة لبطلميوس التي سيجري الحديث عنه لاحقاً<sup>(٥)</sup>.

## أولاً: مصادر علم الفلك العربي

كانت نصوص علم الفلك الأولى المترجمة إلى اللغة العربية في القرن الثامن، من أصل هندي وفارسي. ولكن المصادر اليونانية تقدمت في القرن التاسع على المصادر السابقة. فلنستعرض كل هذه المصادر، بادئين بالنصوص اليونانية.

### ١ - المصادر اليونانية

إنها من نوعين: علم الفلك «الفيزيائي»، بالمعنى القديم للكلمة، وعلم الفلك الرياضي.

يتم علم الفلك «الفيزيائي» بالبحث عن تصور مادي كلي للكون انطلاقاً من تفكير نوعي بحث. إن تأثير أرسطو هو المهيمن في هذا المجال، بتنظيمه المتناسك للعالم على شكل كرات خماسة ومتراكزة، ومزجته حول الأرض الثابتة التي هي مركزها المشترك. الكرة السماوية الأولى هي كرة القمر، وعالم ما تحت القمر هو عالم الكون والفساد. أما عالم ما فوق القمر فهو عالم الاستمرار والحركة الدائرية المستوية التي هي الوحيدة القادرة على التكيف مع كمال طبيعة الأجرام السماوية. ولكل كوكب كرتة الخاصة التي تحركه. والكرة الأخيرة التي تحيط بالكون هي كرة الكواكب الثابتة.

يتم علم الفلك «الرياضي» بالبحث عن تصور هندسي نظري يبحث للكون، مستند

---

(٤) انظر في الأنواء: كارلو ألفونسو تالينو، علم الفلك: تاريخه عند العرب في القرون الوسطى (روما: مطبعة روما، ١٩١١)، ص ١١٧ - ١٤٠ (لماخسرتان ١٨ و ١٩)، *Encyclopédie de l'Islam*, 6 vols. parus, 2<sup>ème</sup> éd. (Leiden: B. J. Brill, 1960-), vol. 1, pp. 538 - 540.

*Encyclopédie de l'Islam*, vol. 6, pp. 358 - 360.

ولي منازل القمر، انظر:

(٥) قام بذلك، حل الأخضر، ستان بن ثابت بن قرة (المتوفى سنة ٣٣١ هـ / ٩٤٣ م) الذي اقتبس في مؤلفه كتاب الأنواء قسماً من الكتاب الثاني من مؤلف بطلميوس كتاب في ظهور الكواكب الثابتة، انظر: Otto Neugebauer, «An Arabic Version of Ptolemy's *Parapegma* from the *Phaseis*», *Journal of the American Oriental Society*, vol. 91, no. 4 (1971), p. 506.

على أرصاد مرقمة دقيقة، بغض النظر عن تلازمه مع تماسك العالم «الفيزيائي». إن هدفه هو إيجاد نماذج هندسية وسهلة (أي قابلة للتحديد بواسطة عدد من المقادير)، قادرة على تحليل الظواهر السماوية المقاسة، وعلى حساب مكان الكواكب في لحظة معطاة، وعلى وضع جداول حركاتها.

لقد بني تاريخ علم الفلك القديم جزئياً على التنافس بين هذين المنهجين لنفس العلم.

تطور علم الفلك الرياضي في إطار علم الفلك الهلينستي، وخاصة حولاً مئة وخمسين سنة قبل الميلاد، مع إيرخس الذي اقتبس عمل أبولونيوس الذي سبقه بنصف قرن. وجاءت أعمال بطليموس لتتوج ما كتب فيه باللغة اليونانية حولاً مئة وخمسين سنة بعد الميلاد.

بطليموس هو العالم الذي كانت مؤلفاته أكثر معالجة واقتباساً وشرحاً ونقداً من قبل الفلكيين اللاحقين به حتى القرن السابع عشر. لقد ألف كتبه الأربعة بالترتيب: للمجسطي، في اقتصاص أصول حركات الكواكب، في ظهور الكواكب الثابتة، وزيج بطليموس. إلا أن الكتابين الأولين هما الأكثر أهمية.

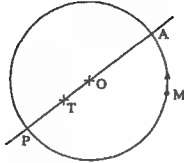
يُعتبر للمجسطي أو المؤلف الرياضي الكبير، الذي وصلنا في لفته الأصلية وفي عدة ترجمات عربية، المرجع النموذجي الذي لعب في علم الفلك نفس الدور الذي لعبه كتاب الأصول لإقليدس في الرياضيات. لنذكر ببساطة أنه مؤلف هائل من ثلاث عشرة مقالة عرض فيه بطليموس، بشكل شامل، أعمال سابقه مغيراً فيها حسب ملاحظاته الخاصة، مهذباً النماذج الهندسية القديمة ومستنبطاً منها نماذج أخرى. إن كلمة الرياضيات لا توجد صراحة في عنوان المؤلف لأن بطليموس لا يشير فيه إلى الحالة «الفيزيائية» للكون إلا قليلاً، ولو أنه قد أخذها ضمناً بعين الاعتبار؛ لقد أثبت وفصل الطرق الهندسية التي تمكن من تحليل الظواهر المراقبة معتمداً على مصادرتي علم الفلك القديم: الأرض ثابتة في مركز الكون، وكل حركة سماوية يجب أن تفسر بتركيب حركات دائرية منتظمة.

يعرف بطليموس طريقته كما يلي: أ - تجميع أكبر عدد ممكن من الأرصاد الدقيقة؛

ب - تمييز كل اختلاف للحركة المراقبة عن الحركة الدائرية المستوية؛ ج - إيجاد بالتجربة، للقوانين التي تسمح برؤية كيفية تركيب الأدوار ومقادير الاختلافات الأنفة الذكر؛ د - تركيب حركات دائرية مستوية بواسطة دوائر مترافزة أو مختلفة المراكز، أو بواسطة أفلاك التدوير، لتحليل الظواهر المرصودة؛ هـ - حساب وسائط هذه الحركات للتمكن من تركيب جداول تسمح بحساب مواضع هذه الكواكب.

إن طريقة بطليموس محدّدة بشكل دقيق جداً، ولكن رغبته في «إنقاذ الظواهر» تقوده عملياً إلى إضعاف شأن مبادئه الأساسية، إذ إنه يُدخل بعض التجريبية على عدد من براهينه. وهو يعترف بذلك في آخر مقالة من هذا المؤلف إذ يقول: «يجب أن يبذل كل

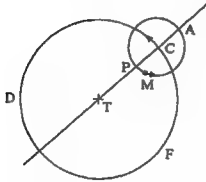
شخص جهده ليطابق الفرضيات الأكثر بساطة مع الحركات السماوية. وإذا تعذر ذلك، وجب عليه الأخذ بفرضيات تتكيف مع الوقائع».



الشكل رقم (١ - ١٢)

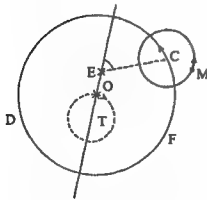
إن قاعدة بحثه عن نماذج هندسية هي تلك التي طورها إيزخس الذي اتبع أبولونيوس عندما شيد نظام أفلاك التدوير ونظام الدوائر الخارجية المراكز (عن مركز العالم).

لنأخذ نظام الدائرة البسيطة الخارجية المركز في الشكل رقم (١ - ١٢). لتكن الأرض الثابتة في النقطة T حيث يوجد الراصد. يتحرك الكوكب M على الدائرة MAP بحركة دائرية مستوية حول المركز O، ولكن الراصد يكتشف أن سرعة الكوكب الظاهرية في الأوج A مغايرة لسرعته في الحضيض P. هذه هي الهيئة الهندسية التي يمكن إستخدامها لتحليل حركة الشمس الظاهرية.



الشكل رقم (١ - ١٣أ)

لنأخذ نظام فلك التدوير البسيط في الشكل رقم (١ - ١٣ب). لنفترض الراصد في النقطة T التي هي مركز الدائرة الحاملة (المسماة دائرة بطليموس) CDF. يتحرك الكوكب M على دائرة صغيرة، تسمى فلك التدوير، ومركزها C، يتحرك على دائرة بطليموس بحركة مستوية. وتكون حركة الكوكب M دائرية مستوية. كما أن السرعة الزاوية للمركز C مطابقة للحركة الوسطى للكوكب M. يمكن أن يفسر هذا النظام، كنظام الفلك الخارج المركز، تغير المسافة بين الكوكب M والأرض. ولكنه يمكن خاصة من تحليل الرجوع الظاهري للكواكب، بطريقة أكثر إقناعاً مما يسمح به النظام الصرف للكرات المادية المتراكزة: عندما يوجد الكوكب في النقطة P، وتكون سرعته الزاوية الظاهرية على فلك التدوير أكبر من



الشكل رقم (١ - ١٣ج)

سرعة C الزاوية، تكون حركته الظاهرية تراجعية. وبالمقابل، عندما يوجد الكوكب في النقطة A تجمع هاتان السرعتان، فيظهر للراصد الموجود في النقطة T أن سرعة الكوكب M أكبر من سرعة C.

إن نظام فلك التدوير هذا مرن جداً، ويتلاءم مع تركيب أكثر تعقيداً لعناصره المكونة: يمكن اعتبار دائرة بطليموس CDF خارجة المركز بالنسبة إلى الأرض (الشكل رقم ١) - (٢ج)، أو متحركة هي الأخرى بحركة دائرية حول T. وهكذا يمكن الوصول إلى هينات معقدة جداً كهينة القمر أو كهينة عطارد؛ أما بخصوص الكواكب العليا (الريخ، المشتري، وزحل)، فإن بطليموس يأخذ حاملة خارجة المركز CDF مركزها في النقطة O، ويترك الراصد في النقطة T ولكنه يؤكد أن انتظام حركة المركز لا يحدث حول O بل حول نقطة «معدل المسير» B بحيث تكون O في وسط TE. إن هذه الحيلة تسمح بوفاء أفضل بين الهيئة النظرية والأرصاء، ولكنها متناقضة مع المبدأ الأساسي للحركة الدائرية المستوية<sup>(٦)</sup>.

وهكذا يمكن تحديد وضع مختلف الكواكب في السماء، إذ يكفي أن نحسب، استناداً على الأرصاد، مختلف الوسائط الداخلة في القضية: الانحراف عن المركز، الأطوال النسبية لأنصاف الأقطار، والسرعات الزاوية لمختلف الدوائر.

لقد وصلنا كتاب الاقتصاص جزئياً (أقل من ريعه بقليل) باللغة اليونانية، ولكن له ترجمة كاملة باللغة العربية<sup>(٧)</sup>. إنه أصغر بكثير من كتاب المجسطي وأسلوبه العام مختلف جداً عن أسلوب الكتاب الأخير. يحسب فيه بطليموس أولاً المسافات القصوى والدنيا للكواكب تبعاً لمعطيات المجسطي، فيقسم الكون إلى مناطق متراكزة، كل واحدة منها تمثل المكان الذي يمكن أن يتحرك فيه كوكب معين، واضعاً تحت كرة القمر، كما فعل

(٦) انظر: Otto Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*, 2nd ed. (New York: Dover Publications, 1957), appendix 1; traduction française par P. Souffrin, *Les Sciences exactes dans l'antiquité* (Arles: Actes Sud, 1990), pp. 239 - 255.

حيث يوجد. عرض سريع ودقيق لهيئات الكواكب الهندسية التي اقترحها بطليموس.

(٧) انظر: Claudius Ptolemaeus, *Le Livre des hypothèses: traduction française par N. Halma* (Paris: Meriln, de la première partie du livre I: *Hypothèses et époques des planètes de Cl. Ptolémée* (Paris: Meriln, 1820), et édition du texte grec de la première partie du livre I et traduction de l'allemand sur l'arabe du livre II par L. Nix, *Claudii Ptolemaei Opera quae extant omnia*, vol. II: *Opera Astronomica minora* (Leipzig: Teubner, 1907), pp. 68 - 145, et Bernard Raphael Goldstein, «The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses*,» reproduction of the entire arabic manuscript, which contains the second part of book I, and a partial english translation, *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.), vol. 57, part 4 (1967), pp. 3 - 55.

لقد قمت بنسخي بنشر النسخة العربية لهذا النص، التي ستكون قريباً تحت الطبع.

أرسطو، كرات النار والهواء والماء والأرض. بعد ذلك لا تعود وجهة نظره «رياضية» بل «فيزيائية» بالمعنى الأرسطي للكلمة، إذ يسعى لوصف أشكال الأجسام المادية التي يمكن أن تتصور في داخلها الدوائر التي تسمح بتحليل مختلف الحركات، وذلك لإبانة تركيب الكون الفيزيائي الحقيقي. فيقسم «الأثير» إلى كرات مميكة بعضها مماس مع البعض الآخر، وهذا ما يذكر بالنظام الأرسطي للكرات الوحيدة المركز. ولكن بطليموس يتصور أيضاً كرات مختلفة المراكز، ويضيف إليها إطارات مندمجة مع أقراص. وهذا ما أدى إلى نوع من النسوية الشديدة التعقيد بين نظام هندسي بحث ونظام مادي متماسك مماثل للنظام الذي عرّفه أرسطو. وهكذا حاول بطليموس أن يمسد نظريته في نظام «فيزيائي» ملموس، ولكن تأثير كتاب الاقتصاد كان أقل من تأثير المجسطي، فيما عدا حساب مسافات وأبعاد الكواكب الذي لاقى قبولاً واسعاً لدى الفلكيين اللاحقين.

يبحث كتاب في ظهور الكواكب الثابتة موضوع ظهور واختفاء الكواكب الثابتة تماماً قبل شروق الشمس أو تماماً بعد غروبها (الزوغ الشروقي والغروبوي والأفول الشروقي والغروبوي). ويتألف من قسمين، حفظ منهما القسم الثاني فقط باللغة اليونانية، وهو يحتوي على تقويم لظهور واختفاء النجوم على الأفق في خلال السنة؛ أما القسم الأول الذي يحتوي على تحليل نظري يَبْتَحث لهذه الظاهرة الخاصة، فلم يعرف إلا بنص عربي<sup>(٨)</sup>.

لقد نقل كتاب زيج بطليموس باليونانية في النشرة التي أخرجها ثيون الاسكندري في القرن الرابع الميلادي ضمن كتابه شرح زيج بطليموس. يستعيد بطليموس في هذا الكتاب، بشكل عملي، بعض نتائج المجسطي النظرية، مشكلاً جداول مفصلة ومغيراً بعض الوسائط تبهماً لنتائج كتاب الاقتصاد وكتاب في ظهور الكواكب الثابتة. لقد ذكرت كل هذه المؤلفات من قِبَل الفلكيين العرب منذ القرن التاسع، وكذلك شروح المجسطي التي ألفها پاپوس وثيون الاسكندري، بالإضافة إلى سلسلة من الكتب اليونانية معروفة تحت اسم المجموعة الفلكية الصغيرة لأنها كانت تُعتبر كمقدمة لقراءة المجسطي. وهي تضم: المعطيات، البصريات، علم انعكاس الضوء والظواهر لإقليدس<sup>(٩)</sup>؛ الأكر، المساكن، وكتاب الأيام والليالي لثاودوسيوس<sup>(١٠)</sup>؛ الكرة للشمرك، وكتاب الطلوع والغروب للنجوم

(٨) لقد عثر على شرح لمحتوى هذا الكتاب في مقطع من كتاب: البيروني، القانون للموسوي. انظر: Régis Morelon, «Fragment arabe du premier livre du *Phaenol de Ptolemaeus*» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 5, nos. 1 - 2 (1981), pp. 3 - 14.

(٩) عاش إقليدس في حوالي ٣٠٠ قبل الميلاد، كتابه للمعطيات يحوي التعاريف المختلفة الداخلة في الهندسة. كتابه البصريات يحوي تفصيلاً لنظرية الرؤية والنظورية. كتابه علم انعكاس الضوء هو دراسة للبريا. أما كتابه للظواهر فيحوي دراسة منهجية للكرة السماوية.

(١٠) عاش ثاودوسيوس في القرن الثاني قبل الميلاد، وقد حالج في كتابه الأكر موضوع هندسة الكرة، وبين في المساكن مناطق الكرة السماوية للرؤية من مختلف مناطق الأرض، وحدد في الأيام والليالي أقسام ذلك البروج التي تقطعها الشمس كل يوم على طول السنة.



لأوطوليكيوس<sup>(١١)</sup>؛ كتاب الجرمين الثنوين ويُعديهما لأرسطرخس<sup>(١٢)</sup>؛ كتاب المطالع لإسقلوس<sup>(١٣)</sup>؛ الأكر لنلاوس<sup>(١٤)</sup>.

## ٢ - المصادر الهندية والفارسية

ذكر العلماء العرب الذين ينتسبون إلى الجيل الأول، ثلاثة نصوص هندية في علم الفلك: أرييهاتية، الذي ألفه أرييهاتا سنة ٤٩٩، وذكره المؤلفون العرب باسم الأرجيه؛ خندخلديكا الذي ألفه براهماغويتا (ت بعد سنة ٦٦٥) والذي ذكر بالعربية باسم زيچ الأركند؛ المهادنتا الذي ألف في أواخر القرن السابع أو بداية القرن الثامن، وقد نقل إلى العربية باسم زيچ السندهند<sup>(١٥)</sup>. تستند هذه النصوص، حسب علم الكونيات الهندي، على أدوار السنين، وتقليدها العلمي يرتبط بعلم الفلك الهلنستي في مرحلة سابقة لعصر بطليموس. لذلك هي تحفظ ببعض الأصول التي يمكن إرجاعها إلى عصر إيرخس. نحن نجد فيها قليلاً من العروض النظرية. إلا أنها تتضمن طرائق حسابية لوضع الجداول، والعديد من وسائط حركات الكواكب. إن الابتكار العلمي للعلماء الهنود في هذا الميدان هو إدخال الجيب (نصف وتر القوس المضاعف) في حسابات المثلثات، وهذا ما يجعلها أقل ثقلًا من حسابات المثلثات في علم الفلك اليوناني حيث كانت تستخدم أوتار الأقواس منذ عهد إيرخس<sup>(١٦)</sup>.

شهدت بلاد الفرس في عهد الساسانيين (٢٢٦ - ٦٥١م) تطوراً لحركة الفلك العلمي

(١١) عاش أوطوليكيوس في القرن الثالث قبل الميلاد، لقد وصف في الكرة للحرارة مختلف دوائر الكرة السماوية والتغير في أوضاعها السبب بحركات هذه الكرة، أما في الطلوع والغروب للنجوم فقد وصف ظواهرات قابلة رؤية الكواكب على الأفق عند طلوعها وغروبها.

(١٢) عاش أرسطرخس في القرن الثالث قبل الميلاد، وهو مشهور لأنه اقترح فرضية مركزية الشمس، لقد حسب في كتابه الجرمين الثنوين ويُعديهما مسافة الشمس والقمر إلى الأرض، وأبعادهما، متطلقاً من استدالات على وضعهما التريبي وعلى الكسوف.

(١٣) عاش إسقلوس في حوالي سنة ١٥٠ قبل الميلاد، وقد حدد، في كتاب المطالع، لكل مكان معين، شروق مختلف البروج تبعاً للنسبة بين أطول مدة للنهار وأقصرها في ذلك المكان.

(١٤) عاش منلاوس في القرن الأول الميلادي، يحتوي كتابه الأكر على الصيغ الأساسية للمثلثات الكروية التي استعملها بطليموس، في ما بعد، في الجسطي، مُدخلًا معادلات بين أوتار الأقواس في رياضي أضلاع كروي كامل. انظر: الفصل الخامس عشر: «علم المثلثات: من الهندسة إلى علم المثلثات»، ضمن الجزء الثاني من هذه الموسوعة.

(١٥) انظر: 'Ali Ibn Sulaymān al-Hāshimī, *The Book of the Reasons behind Astronomical Tables = Kitāb fi 'ilāl al-ʿilāl*, reproduction of the unique arabic text contained in the Bodleian ms. arch. Seld A. 11, with a translation by Fuad I. Haddad and B. S. Kennedy and a commentary by David Pingree and B. S. Kennedy, *Studies in Islamic Philosophy and Science* (Delmar, N. Y.: Scholar's Facsimiles and Reprints, 1981), pp. 201 - 211.

(١٦) انظر الفصل الخامس عشر من الجزء الثاني من هذه الموسوعة والمشار إليه في الهامش رقم (١٤) أعلاه.

باللغة البهلوية بتأثير مزدوج هندي ويوناني (ترجم كتاب بطليموس المجسطي إلى اللغة البهلوية في القرن الثالث). كان هذا العمل موجهاً، على ما يظهر، نحو التنجيم بشكل خاص. والآثار الباقية منه توجد، ابتداءً من نهاية القرن الثامن، في نصوص عربية أشهر فيها خاصة إلى كتاب زيج الفراه. وتذكر هذه النصوص أن هذا الكتاب قد دون عدة مرات متتالية: في سنة ٤٥٠م، ٥٥٦م و٦٣٠م، أو ٦٤٠م (في عهد يزيدجرد الثالث). ولقد ارتبطت هذه الجداول، بواسطة هندية على الأخص<sup>(١٧)</sup>.

سنفصل في الفصول التالية كيف استخدم الفلكيون العرب هذه المصادر المختلفة.

## ثانياً: الأرصاد والمراصد

سنقوم الآن بعرض سريع للمراصد وللآلات الكبيرة الحجم<sup>(١٨)</sup>. يروي ابن يونس أن النيهاندي (المتوفى سنة ١٧٤ هـ / ٧٩٠م) قد قام بأرصاد في أواخر القرن الثامن في جنديسابور، ولكن أعماله قد ضاعت<sup>(١٩)</sup>. وقد سجلت أولى النتائج الدقيقة المنقولة للأرصاد، في حي الشماسية ببغداد أولاً، ثم على جبل قاسيون في دمشق، في السنوات الأخيرة من خلافة المأمون (٨١٣ - ٨٣٣) ويدفع منه. وقد تمت هذه الأرصاد طبقاً لبرنامج دقيق يتم بالشمس والقمر على الأخص. وقد جرى في دمشق رصد متواصل للشمس خلال سنة كاملة، في الفترة ٢١٦ - ٢١٧ / ٨٣١ - ٨٣٢. ولم تتم متابعة العمل، على ما يبدو، في هذين المكانين بعد وفاة المأمون.

ونحن، باستثناء النتائج المرقمة التي نجدها في النصوص اللاحقة، لا نعرف إلا القليل عن هذين المرصدين، وعن نشاطهما وحجمهما؛ لقد كان يحيى بن أبي منصور، المسؤول عن أعمال الرصد في بغداد، عضواً في بيت الحكمة المشهور، وقد طلب الخليفة نفسه أن تكون الآلات المستعملة على أعلى قدر من الدقة. وليست هناك أية إشارة واضحة إلى الآلات

(١٧) انظر: «Astrology and Astronomy in Iran» in: *Encyclopædia Iranica*, edited by Rhan, vol. 2, pp. 858-871, and Edward Stewart Kennedy, «The Sasanian Astronomical Handbook Zīzī Shāh and the Astrological Doctrine of «Transit» (Mamarr)», *Journal of the American Oriental Society*, vol. 78 (1958), pp. 246-262.

(١٨) في مسألة المراصد، انظر: Aydin Mehmed Sayili, *The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory*, Publications of the Turkish Historical Society; ser. 7, no. 38 (Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, 1960).

(١٩) ابن يونس، *Le Livre de la grande table hakénite*, partiellement éditée et traduite en français par Cassin, édition séparée des «Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale» (Paris: Imprimerie de la République, an XII (1804)).

المستعملة هناك. ولكن الشكل الذي عرضت فيه النتائج مقتبس عن بطليموس، وكذلك نماذج الأرصاد المنجزة؛ مما يدل على أن الآلات كانت مشابهة للآلات الموصوفة في المجسطي: الحلقة الاستوائية أو الاعتدالية، الحلقة الزوالية، الربعية الاستوائية، مساطر اختلاف المنظر، الشواخص الكبيرة، كامرة إبرخس لقياس الأقطار الظاهرية، والكرة للحلقة<sup>(٢٠)</sup>. وكانت هذه الآلات تقليدية في علم الفلك القديم. وقد سعى العلماء العرب إلى تحسينها شيئاً فشيئاً، هادفين، على الأخص، إلى بناء حلقات ذات كبر متزايد للحصول على دقة أفضل<sup>(٢١)</sup>.

وقد سُجلت خلال القرن التاسع أرصاد أخرى تابعة للمجموعة الأولى التي أُجريت في بغداد ودمشق، قام بها حبش الحاسب، بنو موسى، الماهاني، سنان بن ثابت،... الخ. وفي أكثر الحالات كان يشار فقط إلى المكان الذي أُجريت فيه الأرصاد: بغداد، دمشق، سامراء، أو نيسابور مثلاً، دون الإشارة إلى الإطار الذي تم فيه إجرائها، وهذا ما يدل على أن المراسد كانت خاصة، دون أية بنية جماعية.

لم يتم، في ذلك الوقت، تجميع كل هذه الأرصاد بشكل نظامي. ولكن، على سبيل المقارنة، يمكن أن نلاحظ أن بطليموس قد بنى كل عمله في المجسطي على ٩٤ رصداً أُجريت ما بين سنة ٧٢٠ ق.م. وسنة ١٤١ م، أقدمها سُجل في بابل، وأحدثها، وعدده ٣٥، أُجري من قِبَل بطليموس نفسه<sup>(٢٢)</sup>. وهكذا يمكن أن ندرك بشكل بديهي أن علماء الفلك العرب قد وجدوا تحت تصرفهم نتائج أرصاد حديثة أكثر عدداً من تلك التي اعتمد عليها بطليموس في أعماله.

كان البتاني من أكبر راصدي الفترة الأولى من تاريخ علم الفلك العربي، عند ملتقى القرنين التاسع والعاشر. وقد تابع برنامجاً منتظماً للأرصاد، طيلة ثلاثين عاماً، في مدينة الرقة الواقعة في شمال سوريا حالياً. وهو الذي نجد عنده، وللمرة الأولى على ما يبدو، إشارة إلى «أنابيب الرصد» في كتاب لعلم الفلك ذي تقليد عربي يوناني، وذلك في سياق البحث عن أول هلال قمري على الأفق<sup>(٢٣)</sup>. وتسمح هذه الأنابيب الحالية من العدسات بتركيز النظر على مكان من السماء، وذلك بحذف الضوء الطفيلي<sup>(٢٤)</sup>. لقد أشار البتاني

Charles Joseph Singer [et al.], ed., *A History of Technology*, 5 vols. (Oxford: Clarendon Press, 1954 - 1958), vol. 3, pp. 586 - 601.

(٢١) في بغداد ودمشق خاصة، منذ الأرصاد الأولى.

Olaf Pederson, *A Survey of the Almagest*, Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium; 30 (Odense: Odense Universitetsforlag, 1974), pp. 408 - 422.

Albategnius, *Al-Batānī, šir al-Batānī Ōm al-Astronōmīk (al-Zīl al-Šabī)*, أنظر: vol. 3, pp. 137 - 138 et vol. 1, pp. 91 et 272.

R. Eisler, «The Polar Sighting Tube», *Archives Internationales d'histoire des sciences*, vol. 6 (1949), pp. 312 - 332.

فقط إلى هذه الأنابيب، أما البيروني فقد وصفها بدقة في فصل مخصص للتحقق من وجود الهلال الجديد على الأفق<sup>(٢٥)</sup>: «وعلى هذا عمل البربخ الذي ينصب على عمود له حركتان: إحداهما على نفسه حتى يلير البربخ في جميع الجهات، والأخرى برمادجة يمكن أن تحرك البربخ في سطح دائرة الارتفاع الذي هو فيما لا يزول عنه، وأما البربخ فلا يقصر عن خمسة أذرع وسعته عن ذراع يجتمع فيه البصر ويقوى بظله وظلمته ويزاد في ذلك بتسويد جوفه من داخله، فمتى كان العمود منصوباً على مركز الدائرة الهندية وأدير على نفسه حتى يحصل شاقول البربخ على خط سمت الهلال ثم حرك بالحركة الأخرى حتى أحاط البربخ مع وجه الأرض بزاوية تساوي زاوية ارتفاع الهلال، وذلك سهل بريح دائرة مقسومة بتسعين [درجة]، يضاف إلى العمود حتى يدور معه في موازاة البربخ».

لقد تأكد استعمال أنبوب الرصد في العالم العربي منذ نهاية القرن التاسع أو بداية القرن العاشر على الأقل. وقد انتقل إلى الغرب اللاتيني في القرون الوسطى حيث أصبح آلة تقليدية في علم الفلك<sup>(٢٦)</sup>.

لقد سجلت أرصاء كثيرة أخرى في الشرق خلال القرن العاشر. لنذكر بسرعة تلك التي أجراها:

- القوي وأبو الوفاء البوزجاني في آخر القرن العاشر، في مرصد كبير بُني في بغداد في حدائق القصر الملكي، في عهد شرف الدولة (٣٧٢ - ٣٧٩ هـ / ٩٨٢ - ٩٨٩ م).

- عبد الرحمن الصوفي (المتوفى سنة ٣٧٦ هـ / ٩٨٦ م) الذي رصد الكواكب الثابتة، بشكل نظامي في أصفهان، وقاس مواضعها، ونشر بذلك قائمته المشهورة للكواكب، التي تشكل مراجعة كاملة لقائمة بطليموس<sup>(٢٧)</sup>.

- ابن يونس في القاهرة في أواخر القرن العاشر وبداية القرن الحادي عشر<sup>(٢٨)</sup>.

<sup>٢٥</sup> لم تظهر أنابيب الرصد هذه بشكل واضح في أي نص فلكي يوناني متقول إلينا، ولكنها كانت معروفة منذ القرن السادس في الصين. انظر: Joseph Needham and Wang Ling, eds., *Science and Civilisation in China* (Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1954 -), vol. 3: *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*, pp. 332 - 334.

(٢٥) البيروني، القانون المسعودي، ص ٩٦٤، مؤلف B، الفصل ١٤، القسم الثاني.

Blaser, Ibid., pp. 312 - 332. (٢٦)

(٢٧) انظر: عبد الرحمن بن عمر الصوفي، كتاب صور الكواكب الثمانية والأربعين (حيدر آباد الدكن:

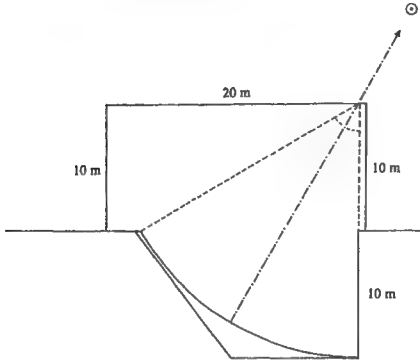
جمعية دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٣)، أعيد طبعه في (بيروت: دار الآفاق الجديدة، ١٩٨١)؛ الترجمة الفرنسية لـ: H. C. F. C. Schjellerup, *Description des étoiles fixes; composées au milieu du dixième siècle de notre ère, par l'astronomie persan 'Abd al-Rahmân al-Sijî* (St. Pétersbourg: Commissionnaires de l'Académie impériale des sciences, 1874), réimprimé (Frankfurt: [s. n.], 1986).

Ibn Yûnus, *Le Livre de la grande table hakémite*.

(٢٨) انظر:

ولكننا سنكون أكثر إسهاباً في الحديث عن مرصد ري.

لقد ابتكر الحنجندي (المتوفى سنة ٣٩٠ هـ / ١٠٠٠ م) وأنجز سُدميَّة كبيرة للأرصاء الشمسية في مدينة ري الواقعة على بعد 12 كلم جنوب طهران، في عهد فخر الدولة (٣٦٦ - ٣٨٧ هـ / ٩٧٧ - ٩٩٧ م) الذي أعانته مالياً. وترتكز السدمية على مبدأ الغرفة السوداء. وهي غرفة مظلمة ذات فتحة صغيرة في السقف<sup>(٢٩)</sup>.



الشكل رقم (١ - ٣)

كان المبنى موجَّهاً من الشمال إلى الجنوب بمحاذاة خط زوال المكان. وكان مؤلفاً من حائطين متوازيين، تفصل بينهما مسافة 3.5 أمتار، ويبلغ طول كل منهما 10 أمتار، مع علو يناهز 20 متراً (الشكل رقم (١ - ٣)). ولا يدخل فيه النور إلا من ثقب في الطرف الجنوبي من سقفه. وقد حُفرت أرضه جزئياً بين الحائطين بحيث يمكن رسم سدمية مركزها في فتحة السقف وشعاعها يبلغ 20 م. وقد غطي داخل قوس السدمية، حيث تتكون صورة الشمس عندما توجد على خط الطول، بصفائح من النحاس، وكانت

Fr. Bruhn, «The Fakhri Sextant in Rayy», *Al-Birūnī Newsletter* (Beirut, American (٢٩) University of Beirut), no. 19 (April 1969), pp. 1 - 12.

التدريج المرسومة على القوس تسمح بقياس ارتفاع الشمس على الأفق أو مسافتها إلى سمت الرأس. وقد بلغ طول كل درجة 35 سم تقريباً، وهي مقسومة إلى 360 قسماً يمثل كل قسم منها 10 ثوان. وتشكل صورة الشمس عند مرورها بخط الزوال دائرة يبلغ قطرها 18 سم. وبعد تحديد مركز هذه الدائرة تتم قراءة دقيقة لقيمة زاوية على الغلاف النحاسي. وقد قاس الخجندى سنة ٩٩٤ ميل فلك البروج فوجده مساوياً لـ ١٩، ٣٢، ٢٣ درجة، وقاس خط عرض ريّ فوجده مساوياً لـ ٣٩، ٣٤، ٣٥ درجة. ولكن ليس لدينا أي دليل لمعرفة المدة التي استعملت فيها هذه السلسلة.

هناك إشارات عديدة إلى وجود آلات كبيرة الحجم في عدد من المراصد السابقة - فقد تم مثلاً إنجاز بناء شكله كروي وطول قطره 12.5 م في مرصد شرف الدولة في بغداد، يسمح بمتابعة مدار الشمس - ولكن وصف سلسمية ري الكبيرة هو الأول من نوعه الذي أعطي بهذه الدقة لبناء كبير في نطاق مرصد ثابت، بينما كان أكثر آلات الهلينستية التقليد قابلاً للنقل أو يمكن الصنع في مكان والنقل إلى مكان آخر للاستعمال، بما في ذلك الحلقات النحاسية الكبيرة والأنايب المشابهة لأنبوب البتاني.

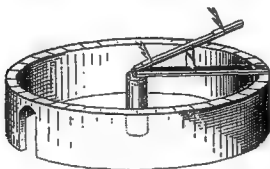
وهناك آلة أخرى كبيرة الحجم، لها قاعدة حجرية ثابتة، وصفها ابن سينا (٣٧٠ - ٤٢٨/٩٨٠ - ١٠٣٧) في كتابه مقالة في الآلات الرصدية<sup>(٣٠)</sup>. وهي عبارة عن حائط مستدير قطره 7 أمتار تقريباً، يحمل في قمته دائرة مدرّجة وضعها أفقي دقيق. ويوجد في مركز الدائرة ركيزة تحمل مسطرة مزدوجة ذات مفصل عمودي يمكنها من الدوران أفقياً حول هذا المركز. تستند المسطرة السفلى على الدائرة المدرجة وتسمح بقياس السمات، أما المسطرة العليا فهي مزودة بجهاز لتصويب النظر؛ وتعطي الزاوية التي هي بين المسطرتين ارتفاع الجسم المرصود. وهكذا نجد ثانية تركيباً يقوم على مبدأ مماثل لمبدأ «أنبوب الرصد» الذي وصفه البيروني. وبعد مرور حوالي قرنين من الزمان على وصف هذه الآلة من قبل ابن سينا، تم في مراغة إنشاء آلة أخرى شبيهة بها مع زيادة مجموعة أخرى من المساطر المفصلة، - أو زيادة جهاز يتألف من ميناءين عموديين لتصويب النظر قابلين للدوران بشكل مستقل حول مركز الدائرة الكبرى الحجرية - وذلك للتمكن من قياس الارتفاع والسمت لجرمين سماويين في نفس الوقت.

إن هذه الآلة التي وصفها ابن سينا تثير الاهتمام بشكل خاص، إذ أنها مزودة بجهاز

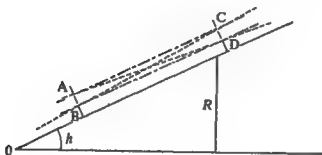
(٣٠) نشر واهيدمان (Wiedemann) وجاينبول (Juynboll) النص العربي وترجمه إلى اللغة الألمانية مع شرح. الشكلاّن التاليان مأخوذان من هذه النشرة. Eilhard H. Wiedemann and Th. W. Juynboll, «Avicennas Schrift über ein von ihm erdennenes Beobachtungsinstrument», *Acta Orientalia*, Bd. 5 (1927), pp. 81 - 167.

لما رسم الآلة فقد أنجزه ج. فوفك تبعاً لمعطيات النص ولما يرفقه المؤلف الأخير عن آلات الرصد في مراغة.

لتصويب النظر أكثر دقة من أجهزة تصويب النظر التي رُكبت على الآلات التي سبقتها، مع إمكانية قراءة الدقائق والثواني بشكل مستقل. ومن المحتمل أن يكون ابن سينا قد ابتكر هذا الجهاز بنفسه. المسطرة العليا في هذا الجهاز مزودة بهدفتين متماثلتين متحركتين على طول المسطرة، لكل واحدة منهما ثقبان للتصويب (انظر الرسم على الشكل رقم (١ - ٤))



الشكل رقم (١ - ٤)



الشكل رقم (١ - ٤ب)

مترابكان، A و B على الهدف الأولى، و C و D على الهدف الثانية، بحيث يكون  $AB=CD$ . لتكن  $\alpha$  الزاوية CAD و  $\beta$  الزاوية CBD. إن قراءة وضعتي الهدفتين على المسطرة العليا تمكن من معرفة قيمتي هاتين الزاويتين. إذا صوّنا النظر إلى جرم سماوي من خلال الثقبتين A و C - أو B و D - يكون الارتفاع المطلوب للجرم السماوي المرصود مساوياً للزاوية  $h$  المحلدة بوضع المسطرة الصغيرة R على المسطرة السفلى. وإذا صوّنا النظر إلى نفس الجرم من خلال الثقبتين A و D توجب علينا تغيير موضع R بحيث تصبح قيمة الزاوية في النقطة O مساوية لـ  $h_1$  بحيث يكون  $h = h_1 - \alpha$ . أما إذا صوّنا النظر من خلال الثقبتين B و C، فيجب تغيير الزاوية في O من جديد لكي تأخذ القيمة  $h_2$  بحيث يكون  $h = h_2 + \beta$ . وهكذا

يمكن جعل  $R$  في موضع بحيث تكون قيمة  $\beta$  مساوية لأصغر عدد صحيح بالدرجات يتجاوز ارتفاع الجرم المرصود، وتكون قيمة  $\beta$  مساوية لأكبر عدد صحيح بالدرجات لا يتعدى ارتفاع الجرم. بعد ذلك يجري تعديل وضعتي الهدفتين على المسطرة العليا بشكل يسمح برصد الجرم السماوي من خلال  $A$  و  $D$  أو  $B$  و  $C$  وتحديد دقيق لقيمة الزاوية  $\alpha$  أو قيمة الزاوية  $\beta$  اللتين تقلان عن الدرجة الواحدة. ولا يبقى علينا عندئذ سوى طرح  $\alpha$  من  $\beta$  أو زيادة  $\beta$  إلى  $\beta$ . وهكذا نرى أن موضع المسطرة الصغيرة  $R$  يعطي عدد الدرجات بينما نحصل على الدقائق من موضعتي الهدفتين  $AB$  و  $CD$ . إن هذه الطريقة تحقق لنا كسباً كبير الأهمية في دقة القياسات المسجلة.

أسس ملكشاه (٤٦٥ - ٤٨٥ هـ / ١٠٧٢ - ١٠٩٢ م) حوالي سنة ١٠٧٤م، في منطقة أصفهان على الأرجح، مرصداً كبيراً، منظماً بعناية، عمل فيه خاصة الختّام. لقد برجمت فيه الأرصاد لمدة ثلاثين سنة، وهي مدة دورة كاملة لزوَّجَل، الكوكب المعروف في ذلك الوقت بكونه الأكثر بعداً عن الأرض<sup>(٣١)</sup>. ولكن هذا المرصد لم يعمل، في الواقع، إلا لمدة ١٨ عاماً فقط، إذ توقف العمل فيه بوفاة مؤسسه. إلا أنه كان أول مرصد رسمي تواصل نشاطه طيلة مثل هذه المدة في إطار تنظيم خطط دقيق. لقد بُني، وفقاً لهذا النهج بشكل واضح، مرصد مراغة الذي نعرف جيداً كيف كان يعمل، في النصف الثاني من القرن الثالث عشر، فسجل متعظاً هاماً في تاريخ علم الفلك العربي<sup>(٣٢)</sup>.

سمح مرصد مراغة (التي تقع في شمال غرب إيران الحالية) بإعداد مجموعة من الجداول الفلكية هي *الزيج الأتخاني*. وأعطى، على الأخص، العلماء الذين كانوا يعملون فيه إمكانية إعداد هياكل هندسية أحسن من تلك التي وضعها بطليموس لتحليل الحركات السماوية، وذلك بفضل الجودة الكبيرة للأليات والتنظيم الدقيق للعمل وعدد الباحثين من ذوي المستوى الرفيع الذين استمتعوا بالعمل فيه في آن واحد. كان نصير الدين الطوسي (٥٩٧ - ٦٧٢ هـ / ١٢٠١ - ١٢٧٤ م) رب العمل فيه، بينما كان الخُرَزمي (المتوفى سنة ٦٦٤ هـ / ١٢٦٦ م) مسؤولاً عن تصميم الآلات.

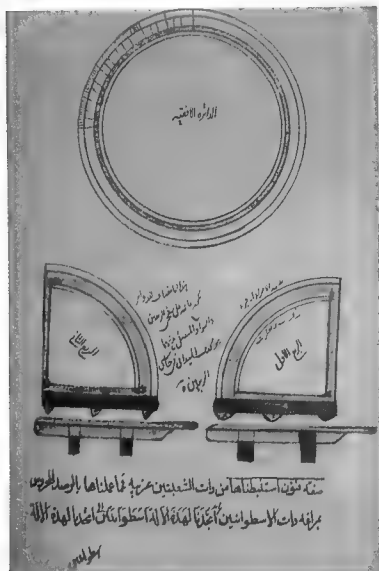
وقد مؤل البناء هولاكو خان (المتوفى سنة ٦٦٣ هـ / ١٢٦٥ م) الذي خصص للمرصد إيرادات هامة من أموال الأرقاف لتأمين نفقاته. وكانت هذه هي المرة الأولى، على علمنا، التي يتمتع فيها مرصد بهذا الامتياز، وهذا ما يفسر كيف أمكن استمرار العمل فيه حتى

(٣١) انظر: Sayili, *The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory*, pp. 160 - 166.

(٣٢) انظر: للمصدر نفسه، ص ٢٥٩ - ٣٠٥، P. Vardjavand, «Rapport sur les résultats des excavations du complexe scientifique de l'observatoire de Marāgha», paper presented at: Muammer Dizer, ed., *Proceedings of the International Symposium on the Observatories in Islam, Istanbul, 19 - 23 September 1977* (Istanbul: [n. pb.], 1980), pp. 143 - 163.



بعد وفاة مؤسسه هولاكو، إذ إن التمويل لم يتقطع فجأة بوفاة الأمير الذي رعاها، كما حدث  
لمرصد ملكشاه مثلاً.



#### الصورة رقم (١ - ١)

مؤيد الدين العرضي، رسالة في كيفية الأرصاد  
(اسطنبول، مخطوطة أحمد الثالث، ١٣٢٩).

خصص العرضي هذا الكتاب لتصميم الآلات اللازمة لمرصد «مراغة»،  
ونرى هنا اثنين ووضعهما الفعلي في المرصد.

بدأ بناء هذا المرصد في سنة (١٢٥٧هـ/١٢٥٩م)، وتم، على ما يظهر، في سنة ٦٦١هـ/١٢٦٣م، وقد تضمنت مجموعة الأبنية التي شُيّدت على أرض بلغت أبعادها 220 x 280 م، بالإضافة إلى مختلف الآلات، مكتبة علمية عظيمة الأهمية ومسبكة لصنع الأجهزة النحاسية. أما الآلات التي صممها العُرُضي فهي التي كانت معروفة في ذلك الوقت، ولكنها حُسنَت كثيراً ودقة، ما عدا آلة واحدة يظهر أنها ابتُكرت في مراغة. تلك هي الدائرة السمتية المزودة بمينامين لتسمح، بقياس الارتفاع على الأفق لجرمين، في آن واحد.

كان برنامج الأرصاد المتواصلة، كما ابتغاه نصير الدين الطوسي، مُعلداً لمدة ثلاثين عاماً، مثلما كان ذلك في مرصد ملكشاه ولتفس السبب، إلا أن هذه المدة عُدلت إلى اثني عشرة سنة، مقدر دورة المشتري. وقد نُشر الزيج الألفاني فعلاً بعد هذه المدة. لقد عمل كثير من العلماء في مراغة، أشهرهم نصير الدين الطوسي ومؤيد الدين العرضي المذكوران سابقاً، ويحيى الدين المغربي وقطب الدين شيرازي اللذان ستتحدث عنهما في الفصول القادمة. كل هؤلاء شاركوا في عملية تجاوز علم فلك بطلميوس. وهكذا تشكلت «مدرسة» حقيقية حول مراغة كان لها تأثير هام على كل التطور اللاحق في علم الفلك في الشرق.

هناك آثار لنشاط هذا المرصد حتى سنة ٧١٥هـ/١٣١٦م، تاريخ وفاة آخر مدير معروف له، وهو أصيل الدين، الذي استلم إدارته سنة ٧٠٤هـ/١٣٠٤م. إلا أن أبنيته كانت مهدمة حوالى سنة ١٣٥٠م. لذلك نحن أكييون أن مرصد مراغة قد عمل مدة ما يزيد على خمسين عاماً دون أن نستطيع إعطاء تاريخ دقيق لتوقف العمل فيه.

كان لهذا المرصد تأثير كبير، ليس فقط بسبب أهمية الأعمال العلمية التي أنجزت في إطاره، والتي ستفصلها فيما بعد، بل أيضاً لأنه ظهر كنموذج للمرصد الكبرى اللاحقة. وأشهر هذه المراصد جودة في الآلات هما مرصدا سمرقند واسطنبول. لقد أسس مرصد سمرقند سنة ٨٢٣هـ/١٤٢٠م للحاكم ألغ بك الذي كان أيضاً رجلاً عالماً كبير الأهمية. وقد تواصل نشاط هذا المرصد حتى سنة ١٥٠٠م تقريباً<sup>(٣٣)</sup>. أما مرصد اسطنبول فقد بناه الفلكي تقي الدين ابتداء من سنة ٩٨٢هـ/١٥٧٥م ولم يعمل سوى عدة سنوات فقط<sup>(٣٤)</sup>. إن أواخر المراصد الكبرى التابعة لتقليد مراغة أسست على يد جاي سنغ في الهند، في القرن الثامن عشر. نذكر منها خاصة مرصد جايبور (١٧٤٠) الذي ما تزال أغلب آلاته في مكانها حتى اليوم.

(٣٣) انظر: L. A. Sédillot, *Prolegomenes des tables astronomiques d'Oloug Bey* (Paris: Didot, 1853).

Didot, 1853).

Sayili, Ibid., pp. 259 - 305.

(٣٤) انظر:



### الصورة رقم (١ - ٢)

مرصد جايبور (جنوب غرب دلهي).

نرى في الصورة سلسلة من الأبنية الضخمة التي كانت تستعمل لرصد حركة الشمس ووضعها على دائرة البروج، والتي كانت تستعمل أيضاً لتحديد الوقت.

لقد تمكنا من خلال هذه اللوحة الموجزة أن نرى بشكل سريع تطور المراصد في الشرق. أما في الغرب الإسلامي، الأندلس والمغرب، فقد كان نشاط الرصد الفلكي أضعف بكثير مما كان في الشرق، ولم يندرج في تقليد متبوع. ونحن لا نجد فيه أثراً لمراصد عامة منظمّة. إن الأرصاد الدقيقة الوحيدة التي نُقلت قد أنجزت هناك في مراصد خاصة، في نهاية القرن الرابع الهجري، العاشر الميلادي، من قبل مَسْلَمَة المجريطي، وفي القرن الخامس الهجري، الحادي عشر الميلادي، من قبل الزرقالي الذي كان لمؤلفه جداول طليطلة تأثير كبير في الغرب اللاتيني خلال القرون الوسطى<sup>(٣٥)</sup>.

(٣٥) انظر: Dictionary of Scientific Biography, 18 vols. (New York: Scribner, 1970 - 1990).

## ثالثاً: مسائل علم الفلك العملية

ابتداءً من نهاية القرن الثامن ومع تطور العلوم الدقيقة في النطاق التمييز لمجتمع إسلامي منظم، طلب من العلماء التخصصيين في مختلف المواد العلمية، أن يحلوا بعض المسائل ذات التأثير الاجتماعي أو الديني. وهكذا كان على علماء الفلك مثلاً أن يلبيوا الطلبات التقنية للمنجمين الذين كان دورهم الاجتماعي والرسمي مهماً. وقد تمت، لأجل ذلك جزئياً، كتابة الأزياج. وقد طلب من الفلكيين على الأخص الإسهام في حل مسائل عملية تتعلق بالتقاويم والساعات والتوجه على الأرض أو على البحر. وهذا ما عبر عنه ابن يونس في مقدمة كتابه الزيج الحاكمي، الذي حرره في بداية القرن الحادي عشر قائلاً: «ولما كان للكواكب ارتباط بالشرع في معرفة أوقات الصلوات وطلوع الفجر الذي يحرم به على الصائم الطعام والشراب، وهو آخر أوقات الفجر، وكذلك مغيب الشفق الذي هو أول أوقات البشا الآخرة، وانقضاء الأيمان والنذور والمعرفة بأوقات الكسوف للتأهب لصلاته والتوجه إلى الكعبة لكل مُصلٍّ، وأوائل الشهور معرفة بعض الأيام إذا وقع فيه شك وأوان الزرع ولقاح الشجر وجني الثمار ومعرفة سمات مكان من مكان والأهتداء عن الضلال»<sup>(٣٦)</sup>.

كل هذه المواضيع كانت مصدراً للتطورات النظرية الهامة التي تجاوزت كثيراً الإطار الضيق للمسائل التطبيقية المطروحة. سوف نعالج فيما بعد بشكل خاص: صناعة المزاول وعلم الميقات، ومسألة القبلة، أي كيفية تحديد اتجاه مكة انطلاقاً من مكان معين، حساب قابلية رؤية الهلال، الجغرافيا الرياضية، حساب خط الطول وخط العرض لمكان معين، وعلم الملاحة للتوجه في البحر...

### لنصف الآن مسائل التقاويم.

التقويم الرسمي في العالم العربي هو التقويم الهجري الذي يستند إلى السنة القمرية. لنذكر بأن السنة الأولى للهجرة قد بدأت في يوم الجمعة ١٦ تموز/ يوليو سنة ٦٢٢ ميلادية، وأن السنة القمرية تتألف من اثني عشر شهراً، والشهر القمري يتألف من ٢٩ أو ٣٠ يوماً. ويحدث تغيير اليوم عند غروب الشمس، بينما يتم الدخول في الشهر التالي عند رؤية أول هلال قمري على الأفق تماماً بعد غروب الشمس. لقد أعطى بطليموس قيمة دقيقة جداً لمتوسط طول الشهر القمري. وهي تزيد قليلاً على ٢٩ يوماً ونصف (بحوالى 44 دقيقة تقريباً). لذلك فإن القيمة الوسطية للسنة القمرية المولفة من اثني عشر شهراً، تساوي ٣٥٤,٣٦٧ يوماً. وقد تحقق الفلكيون العرب من هذه القيمة وأدخلوا بها منذ القرن التاسع، وأعدوا دورة من ٣٠ سنة لوضع تقويم رسمي، تتناوب فيه الأشهر ذات الأطوال المساوية لـ ٣٠ يوماً مع الأشهر ذات الأطوال المساوية لـ ٢٩ يوماً، ويزاد يوم في الشهر

Ibn Yūnus, *Le Livre de la grande table haldemite*, pp. 60 - 61.

(٣٦) انظر:

الأخير لكل سنة من السنوات الإحدى عشرة، لهذه الدورة، والتي تحمل الأرقام التالية: ٢، ٥، ٧، ١٠، ١٣، ١٦، ١٨، ٢١، ٢٤، ٢٦، ٢٩. وهكذا تمّ التوافق على المدى الطويل، مع المعطيات الفلكية بشكل جيد. ولكن رؤية أول هلال على الأفق، مساء اليوم التاسع والعشرين، كانت تقود دائماً إلى تغيير الشهر في المكان الذي تحصل فيه هذه الرؤية، مما قد يؤدي إلى حصول فرق مساوٍ للوحدة في مراتب أيام الشهر من طرف إلى آخر من أطراف العالم الإسلامي. ومع أن الشريعة الدينية تقتضي رؤية الهلال الفعلية، فإن المسألة المطروحة على علماء الفلك هي مسألة إمكانية التنبؤ، عن طريق الحساب، بقابلية رؤية هلال القمر في مكان معين، مساء اليوم التاسع والعشرين للشهر، مهما كانت معطيات التقويم الرسمي (وهذا ما يخص «الأيام التي يدخل فيها الشك»، في النص السابق لابن يونس). إن هذه المسألة صعبة نظراً لعدد الوسائط التي تدخل فيها - إحداثيات الشمس والقمر السماوية، السرعة الظاهرية النسبية لهذين «النّيرين»، عرض المكان، ضيائية السماء على الأفق، .. الخ. وقد أكتب عليها العديد من علماء الفلك، وهذا ما أدى إلى تطورات نظرية مهمة جداً حول قابلية رؤية الكواكب على الأفق، تماماً بعد غروب الشمس.

كان التقويم الشمسي دائم الاستخدام في بلاد الفرس، إلى جانب التقويم القمري. وكان مطابقاً حيتل - لتاريخ يزجرجد الذي بدأ في ١٦ حزيران/ يونيو سنة ٦٣٢م. وكما هي الحال في «التقويم المصري» الذي استخدمه بطليموس في المجسطي، تنقسم السنة إلى اثني عشر شهراً، طول كل واحد منها ثلاثون يوماً، يضاف إليها في آخرها خمسة أيام إذا كانت سنة عادية، وستة أيام كل أربع سنوات عندما تكون كبيسة. هذه الأيام الإضافية التي كانت تسمى «الأيام النسيئة»، سمحت بمطابقة السنة الرسمية مع السنة الشمسية الفلكية. لقد تبنى علماء الفلك في بغداد هذا التقويم منذ البداية لأن الدورة الشمسية هي في أساس القياسات في علم الفلك، ولأنه من الأسهل وضع جداول حركات الكواكب عندما يبقى طول كل شهر مساوياً بشكل دائم لثلاثين يوماً. ولكن طول السنة أقصر بقليل من ٣٦٥ يوماً وربع اليوم، وفي آخر القرن الحادي عشر كلف جلال الدولة ملكشاه - الذي أسس المرصد الكبير المشار إليه آنفاً - علماء الفلك الذين كانوا تحت رعايته بمراجعة تركيب هذا التقويم للقيام بالتصحّحات الضرورية وتجنب تراكم التفاوت البسيط مع حركة الشمس الظاهرية. وهكذا أسس في سنة ٤٦٧هـ/ ١٠٧٥م، «التاريخ الجلالى» الذي يوجد فيه ثمانى سنوات كبيسة كل ٣٣ سنة - بدلاً من ٣٢ سنة في التقويم السابق - و هذا ما أعطى تطابقاً ممتازاً مع الحسابات الفلكية. إن هذا التصحيح شبيه بالتصحيح الذي لم يحصل في الغرب إلا في سنة ١٥٨٢م عندما تم الانتقال من التقويم اليوليوسي إلى التقويم الغريغوري (٣٧).

لكن المساهمة الكبرى لعلماء الفلك العرب، خارج ما يمكن أن نسميه بعلم الفلك العملي، تكمن في ميدان علم الفلك النظري البحت الذي لا يخلو من صلة مع الميدان السابق.

## رابعاً: الفترات الكبرى في تاريخ علم الفلك العربي

يمكن أن نقسم إجمالاً تاريخ علم الفلك العربي إلى فترتين كبيرتين يقع عند ملتقاهما القرن الحادي عشر.

كان عمل الفلكيين من القرن التاسع حتى القرن الحادي عشر يتم، بشكل شبه حصري، ضمن إطار المخططات الهندسية الموروثة عن بطليموس والتي نُقِّحت وانتُقدت استناداً على أرصاد جديدة. وفي القرن الحادي عشر قام ابن الهيثم (٣٥٤ - ٤٣٠هـ/ ٩٦٥ - ١٠٣٩م) بتقدير شامل للملف العلمي التراكم خلال قرنين في كتابه الشكوك على بطليموس<sup>(٣٨)</sup>. وقد وضع فيه قائمة بالتناقضات الموجودة في كتب بطليموس: المجسطي وكتاب الاختصاص والبصريات، تلك التناقضات التي أظهرتها أعمال الفلكيين السابقة والتي بقيت دون حل. ولكنه لم يقترح حلاً لهذه التناقضات.

إن هذا البيان النقدي أدى إلى مأزق مؤقت، إذ لا يمكن إيجاد حل إلا من خارج الإطار الذي بقي فيه علم الفلك سجيناً. لذلك جرى البحث عن حلول من نوعين مختلفين كل الاختلاف، أحدهما في الغرب الإسلامي والآخر في الشرق.

ظهر اقتراح، في الأندلس، للرجوع إلى المبادئ الأرسطية: التخلي عن أفلاك التدوير والدوائر الخارجية المراكز والعودة إلى الكرات المتحدة للمراكز التي هي أكثر تماسكاً من وجهة النظر الفيزيائية. إن البطروجي (أواخر القرن الثاني عشر) هو الممثل الأكثر تشخيصاً لهذه المدرسة. ولكن أسسها كادت أن تكون فلسفية عقيمة. وكان من المستحيل القيام بحساب، انطلاقاً من نتائجها، أو التثبت من هذه النتائج بأرصاد مرفعة. وهكذا أدى هذا المنهج إلى طريق مسدود، وإن بقي مضمونه الفلسفي مثيراً للاهتمام.

أما الحل المقترح في الشرق فكان ذا طابع علمي، وهذا ما نسميه بالفترة الثانية في علم الفلك العربي، إذ جرى البحث، من أجل تحليل حركات الكواكب، عن هيئات هندسية لأفلاك التدوير والدوائر المنحرفة للمراكز. وكانت هذه الهيئات تستند إلى مبدأ مركزية الأرض، ولكنها مخالفة لما وضعه بطليموس. ولقد تم القسم الأكبر من هذا العمل على أيدي الفريق المشكل حول مرصد مراغة الذي وصفناه سابقاً.

وهكذا ستقسم عرضنا لتطور علم الفلك النظري في العالم العربي إلى فصلين متميزين مقابلين للفترتين الشرقيتين الكبيرتين، وستتكلم عن عمل الفلكيين في الغرب الإسلامي في الفصل التاسع: تطورات العلم العربي في الأندلس.

(٣٨) انظر في المراجع ما ورد تحت اسم ابن الهيثم.

## علم الفلك العربي الشرقي بين القرنين الثامن والحادي عشر<sup>(\*)</sup>

### ريجيس مورلون

يذكر القفطي أن أول عالم عربي اهتم بعلم الفلك هو محمد بن إبراهيم الفزاري (النصف الثاني من القرن الثامن للميلاد)، وذلك في بداية عهد العباسيين<sup>(١)</sup>. وقد ورد اسمه في رواية مشهورة تقول إن الخليفة المنصور قد استقبل حوالي سنة ٧٧٠م في بغداد وفداً هندياً ضم عالماً بالفلك. لم يُذكر اسم هذا العالم ولكن الرواية تقول انه كان يحمل نصاً واحداً على الأقل باللغة السنسكريتية في علم الفلك، وإن هذا النص قد نقل إلى العربية تحت اسم زيح السنهنت<sup>(٢)</sup> بحضور عالم الفلك الهندي وتحت إشرافه. وقد كُلف الفزاري ويعقوب بن طارق بهذا العمل<sup>(٣)</sup>. ومهما تكن القيمة التاريخية لتفاصيل الوقائع

---

(\*) قام بترجمة هذا الفصل بدوي البسوط.

(١) انظر: أبو الحسن علي بن يوسف القفطي، تاريخ الحكماء: وهو مختصر الزواري للمسي بالمصنفات المكتوبات من كتاب إخبار العلماء بأخبار الحكماء، تحقيق يوليوس ليرت (لينزينغ: ديزينغ، ١٩٠٣).

(٢) انظر الإشارة إلى المراجع الهندية في الفصل الأول.

(٣) انظر: أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني، كتاب في تحقيق ما للهند (حيدر آباد الدكن: [د.ن.]، ١٩٥٨)، ص ٣٥١ - ٣٥٢. إن البيروني، بشكل عام، كاتب أمين جداً عندما ينقل رواية ذات طابع علمي، لا سيما في ما يخص الهند. ومن الأرجح أن تكون الرواية، التي نحن بصددتها، مستندة إلى واقعة تاريخية حقيقية. ولكننا لا نستطيع أن نجزم إطلاقاً بأصالة كل ما ورد في هذه الرواية بسبب نقص بعض العناصر: إن المصادر العربية المختلفة لا تتفق على تواريخ أكيد للرواية، من هو هذا العالم الفلكي الهندي؟ وبأي لغة تحدث مع معادنيه؟ هل كان الفرض ترجمة نص بالمعنى الخاص للكلمة وأي نص؟ إذ إن العبارة «زيح السنهنت» قد تكون عامة بشكل خالص، أم لم يكن هناك إلا نقل لتأنيج حل شكل جداول... الخ.

المسرودة في هذه الرواية، فقد أجمع المؤلفون الذين جاؤوا بعد المؤلفين الآخرين على أنها اللذان أدخلتا علم الفلك للمرة الأولى في العالم العربي استناداً إلى مصادر هندية.

لقد ضاعت مؤلفات الفزاري ويعقوب بن طارق، ولكن بقي منها عدد من المقتطفات، لدى الكتاب اللاحقين<sup>(٤)</sup>. من المعروف أن الأول قد ألف زيح السنهتند الكبير. وتدل الاستشهادات اللاحقة المأخوذة من هذا الكتاب على أن الفزاري قد مزج بين وسائل هندية وعناصر من أصل فارسي مأخوذة من زيح الشاه. وهناك آثار لثلاثة مؤلفات ليعقوب بن طارق: زيح محلول في السنهتند للدرجة دوجة، تركيب الأفلاك، وكتاب الملل. وإن أسس الاستدلال في هذه الكتب الثلاثة هي نفسها التي اتبناها الفزاري. لقد كان لهذين المؤلفين الفضل الكبير في إدخال علم الفلك في العالم العربي. ولكن مؤلفاتهما، إذا حكمنا عليهما من خلال ما تبقى منها، تظهر كأنها تجمع للعناصر التي كانت تحت تصرفهما، دون التحقق منها بالرصد، ودون السعي إلى تماسك حقيقي داخلي.

إن أول كتاب في علم الفلك العربي نقل إلينا بكامله هو زيح السنهتند لمحمد بن موسى الخوارزمي. وهو يتبع التقليد السابق مع إدخال لعناصر من علم فلك بطليموس. لقد نُقِدَ نصه العربي، وتم نقله بواسطة ترجمة لاتينية أنجزها في القرن الثاني عشر للميلاد أدلار د بات (Adélar de Bath) استناداً إلى مراجعة للكتاب أجراها المجريطي (المتوفى سنة ٣٩٨ هـ / ١٠٠٧م) في الأندلس<sup>(٥)</sup>.

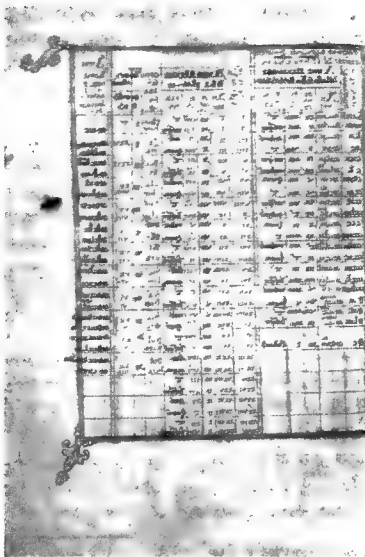
عاش الخوارزمي من نهاية القرن الثامن إلى منتصف القرن التاسع للميلاد، وهو مشهور أيضاً كرياضي بفضل مؤلفه في الجبر. وقد حرّر كتابه في علم الفلك في عهد المأمون (٨١٣ - ٨٣٣م). لا يحتوي الكتاب على أي عنصر نظري، وهو عبارة عن مجموعة جداول لحركات الشمس والقمر والكواكب الخمسة المعروفة، مع شرح لطريقة استخدامها العملي. إن أكثر الوسائل المستخدمة فيه هندية المصدر، وكذلك هي طرق الحساب الموصوفة فيه وخاصة استخدام الجيوب. غير أن الخوارزمي اقتبس بعض عناصر الكتاب

(٤) حول الفزاري، انظر: David Pingree, «The Fragments of the Works of al-Fazārī», *Journal of Near Eastern Studies*, vol. 29, no. 2 (April 1970), pp. 103 - 123.

وحول يعقوب بن طارق، انظر: David Pingree, «The Fragments of the Works of Ya'qūb Ibn Ṭāriq», *Journal of Near Eastern Studies*, vol. 27, no. 2 (April 1968), pp. 97 - 125.

(٥) نص لاتيني نشره: Heinrich Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muḥammed Ibn Mūsā al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Madritī und der latein. Übersetzung des Athelhard von Bath auf grund der vorarbeiten von A. Björnbo und R. Besthorn in Kopenhagen...* hrsg und Kommentiert von H. Suter (Kopenhagen: A. F. Høst and Son, 1914), ترجمه وشرحه: Otto Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī*, translated with commentary of the latin version (Copenhagen: [n. pb.], 1962).





#### الصورة رقم (٢ - ١)

عبد بن موسى الخوارزمي (الثالث الأول من القرن الثالث الهجري،  
النصف الأول من القرن التاسع الميلادي)، الزيج، تنقيح أبو القاسم مسلمة  
المجريطي (٣٣٨ - ٤٣٩ هـ / ٩٥٠ - ١٠٠٧ م)؛ ترجمة أدلار دو باث  
(أو كسفورد، خطوط مكتبة بولدين، Auct. F 1.9).

لم يبق من هذا النص إلا ترجمته اللاتينية بعد أن فقد الأصل العربي. واعتمد  
الخوارزمي في كتابة هذا، الزيج، على أصول هندية دخلت العالم العربي قبل  
ترجمة النصوص اليونانية. ولقد تقع المجريطي بعض النتائج حتى توافق ما  
يمكن الحصول عليه على خط طول قرطبة في الأندلس.

من الجداول الميسرة لبطلميوس<sup>(٦)</sup> دون أن يسعى إلى تماسك ما بين مختلف النتائج المأخوذة عن الهنود في أول الأمر وعن بطلميوس بعد ذلك. وهكذا نجد هنا نفس المشكلة التي لقيناها في مؤلفات الفزاري وابن طارق، والتي نتجت عن استخدام المصادر الهندية والفارسية في آن واحد.

وقد أصبح دور هذه التقاليد الهندية، التي لا تتضمن إلا طرائق للحساب ومجموعات من الوسائط لتأليف الجداول، ثانوياً بسرعة بالنسبة إلى علماء الفلك العرب في بغداد خلال القرن التاسع. وقد جرى ذلك لصالح علم الفلك الذي وضعه بطلميوس، لأنه غني بالاستدلالات النظرية. وهذا ما سمح بتطور علم الفلك كعلم دقيق. غير أن هذا التقليد الهندي حافظ على تأثير لا يستهان به، في تأليف الجداول الفلكية في الغرب الإسلامي (الأندلس والمغرب)<sup>(٧)</sup>.

## أولاً: إدخال علم الفلك اليوناني

كما قد أشرنا في المقدمة إلى «المجموعة الفلكية الصغيرة» الحاوية على أحد عشر مؤلفاً صغيراً باللغة اليونانية، والتي كانت تعتبر كتمهيد لقراءة مؤلفات بطلميوس. لقد أنجزت ترجمة هذه المجموعة إلى العربية خلال القرن التاسع للميلاد من قبل علماء موثوقين أجادوا العربية واليونانية: حنين بن إسحق (المتوفى سنة ٨٧٧م)، ابنه إسحق بن حنين (المتوفى سنة ٩١١م)، ثابت بن قرة (المتوفى سنة ٩٠١م)، قسطا بن لوقا (المتوفى في أوائل القرن العاشر للميلاد)<sup>(٨)</sup>.

وقد ترجمت مؤلفات بطلميوس الأربعة التي ذكرناها في المقدمة إلى العربية في القرن التاسع للميلاد أيضاً. وأهمها المجسطي بسبب التأثير الذي أحدثه<sup>(٩)</sup>. وكانت له عدة ترجمات، كما قال المؤلف ابن الصلاح في القرن الثاني عشر: «وكان قد حصل من كتاب

(٦) انظر:

Neugebauer, Ibid., pp. 101 - 108.

(٧) انظر:

Edward Stewart Kennedy and David A. King, «Indian Astronomy in Fourteenth-Century Fez: The Verified Zij of al-Qunṭarī», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6, nos. 1 - 2 (1982), pp. 3 - 45.

(٨) ترجمت مؤلفات إقليدس الأربعة من قبل حنين بن إسحق وثابت بن قرة. وترجم قسطا بن لوقا مؤلفات ثابوديسيوس الثلاثة. وترجم إسحق بن حنين أحد كتابي أوطوليوكوس، وترجم قسطا بن لوقا الكتاب الآخر، وترجم أيضاً هذا الأخير كتاب أرسطرخس وكتاب إبيقلوس. أما كتاب متالوس فقد ترجمه حنين أو ابنه إسحق.

(٩) حول نقل المجسطي إلى العربية، انظر: Paul Kunitzsch, *Der Almagest: Die Syntaxis Mathematica des Claudius Ptolemaeus in Arabisch-Lateinischer Überlieferung* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1974).

المجسطي خمس نسخ مختلفة اللغات والترجمات، منها نسخة سريانية قد نقلت من اليونانية، ونسخة ثانية بنقل الحسن بن قريش للعلماء من اليونانية إلى العربية، ونسخة ثالثة بنقل الحجاج بن يوسف بن مطر وهلميا بن سرجون للعلماء أيضاً من اليونانية إلى العربية، ونسخة رابعة بنقل إسحق بن حنين لأبي الصقر بن بلبل من اليونانية إلى العربية، وهي دستور إسحق ويخطه، ونسخة خامسة بإصلاح ثابت بن قرة لنقل إسحق بن حنين<sup>(١٠)</sup>.

لقد ضاعت ثلاث من هذه النسخ: الأولى وهي النسخة السريانية المجهولة المترجم، الثانية وهي النسخة العربية للحسن بن قريش التي توجد بعض آثارها على الأخص في مؤلفات البيهقي في القرن العاشر<sup>(١١)</sup>، والرابعة وهي نسخة إسحق بن حنين قبل مراجعة ثابت بن قرة لها. لدينا حالياً على شكل خطوط<sup>(١٢)</sup> بالعربية نسختان: الثالثة التي أنجزها الحجاج حوالي (٨٢٧ - ٨٢٨ م) بأمر من المأمون، والخامسة التي أنجزها إسحق بن حنين وراجعها ثابت بن قرة حوالي ٨٩٢ م. وهاتان النسختان نقلتا من اليونانية إلى العربية. ويجب إضافة مراجعة أخرى، بل كتابة جديدة لكتاب المجسطي إلى لائحة ابن الصلاح أنجزها، بعد هذا الأخير، نصير الدين الطوسي في أواسط القرن الثالث عشر استناداً إلى نسخة إسحق - ثابت. وقد لقيت هذه النسخة انتشاراً واسعاً منذ ذلك العصر بين الفلكيين الناطقين بالعربية.

لتقارن بين نسختي القرن التاسع الموجودتين لدينا. تبقى نسخة الحجاج قريبة جداً من النص اليوناني، وقد احتفظ فيها ببنية الجملة اليونانية الأصلية في أغلب الأحيان. والمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها غامضة أحياناً، وهذا ما يفرض العودة، في

(١٠) انظر: Ahmad Ibn Muhammad Ibn al-Shāhī, *Zur Kritik der Koordinatenüberlieferung im Sternkatalog des Almagest*, édition et traduction par Paul Kunitzsch, Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Philologisch - Historische Klasse; Folge 3, Nr. 94 (Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1975).

النص العربي، ص ١٥٥، الخطوط ص ١٢ - ١٨.

Kunitzsch, Ibid., pp. 60 - 64.

(١١) انظر:

(١٢) لقد نشر قسم واحد من هاتين النسختين، وهو جدول نجوم المجسطي. انظر:

Claudius Ptolemaeus, *L'Almageste*: édition du texte grec par J. L. Heiberg (Leipzig: Teubner, 1898-1903); traduction française par N. Halma (Paris: [s. n.], 1813 - 1816), réimprimé (Paris: Hermann, 1927); traduction anglaise: Ptolemy, *Ptolemy's Almagest*, translated and annotated by G.J. Toomer (New York: Springer - Verlag, 1984), et édition et traduction allemande de deux versions arabes du catalogue d'étoiles: Claudius Ptolemaeus, *Der Sternkatalog des Almagest, Die Arabisch - mittelalterliche Tradition, I, Die Arabischen Übersetzungen*, édition et traduction de Paul Kunitzsch (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1986).

نشر وترجمة الجدول إلى الألمانية تم من قبل بول كونيشتش (Paul Kunitzsch).

عدد من الحالات، إلى النص الأصلي اليوناني من أجل فهم صحيح لبعض الاستدلالات، مع أنها مشروحة بالعربية. هذه العيوب، في ترجمة نص أساسي كهذا، أدت إلى إنجاز نسخة حثيثة - ثابت في أواخر نفس القرن، بعد خمسين سنة من العمل في علم الفلك حسب النهج الهلينستي. إن قراءة هذه الترجمة الأخيرة لكتاب المجسطي لا تتطلب الرجوع إلى النص اليوناني، لأن اللغة والمصطلحات العربية فيها واضحة تماماً وتسمح بالتعبير عن كل شيء دون التباس. وهكذا تكون لدينا نقطتان دقيقتان للاستدلال على أن لغة علمية عربية تكونت في علم الفلك خلال القرن التاسع بين سنة ٨٢٧م وسنة ٨٩٢م.

نحن لا نملك معلومات دقيقة عن ترجمة كتب بطليموس الثلاثة الأخرى بمثل الدقة التي نعرفها عن ترجمة المجسطي. لقد ذكر الكتاب الثاني لبطليموس بالعربية ابتداء من منتصف القرن التاسع للميلاد على الأقل، تحت اسم كتاب الاقتصاد أو كتاب المنشورات (من قبل البيروني على الأخص). ونحن نملك ترجمته الوحيدة الكاملة. لكنها لم تُنشر حتى الآن. وهي التي مكنت من حفظ الأربع الثلاثة الأخيرة من هذا المؤلف، التي ضاعت في اللغة الأصلية. لم يصلنا اسم المترجم. ولكن هناك إشارة، في إحدى المخطوطتين الكاملتين اللتين تحويان هذه الترجمة، إلى أن ثابت بن قرة قد صحح النص<sup>(١٣)</sup>.

لقد ذكر ثابت بن قرة كتاب بطليموس *Phaseta* تحت اسم كتاب في ظهور الكواكب الثابتة. ولكن هذا لا يكفي للتأكد من تعريب هذا الكتاب لأن ابن قرة كان يعرف اليونانية. غير أن هذه الترجمة العربية ذكرت من قبل المسعودي (المتوفى حوالي ٣٤٥هـ/ ٩٥٦م)<sup>(١٤)</sup>، واستُخدمت من قبل سنان بن ثابت (المتوفى سنة ٣٣٢هـ/ ٩٤٣م) في مؤلفه كتاب الأنواء<sup>(١٥)</sup>. لم تصلنا الترجمة العربية لهذا الكتاب، التي أُنجزت في بداية القرن العاشر على أبعد تقدير، ولكن لدينا العديد من الإشارات إلى هذا المؤلف عند علماء الفلك العرب.

لقد استخدم الخوارزمي، كما رأينا سابقاً، كتاب بطليموس للجدول المسيرة، وكذلك فعل من بعده قسطنطين لوقا (في منتصف القرن التاسع)<sup>(١٦)</sup>. ونحن نجد آثاراً لهذا الكتاب عند العديد من المؤلفين اللاحقين، ولكننا لم نثر على ترجمته العربية ولا نعرف الظروف التي عُزب فيها.

Leiden, ms. Or. 180, fol. 1a.

(١٣) انظر:

(١٤) انظر: Al-Mas'ūdī, *Kitāb al-tamhīl wa'l- iṣṭifāʾ*, édité M. J. de Goeje (Lugduni - Batavorum: E. J. Brill, 1894), réimprimé (Beyrouth: Khayrat, 1965); traduction française: *Le Livre de l'avertissement et de la révélation*, traduit par Carra de Vaux (Paris: Imprimerie nationale, 1896), pp. 15- 16.

(١٥) انظر مقدمة إليست.

(١٦) في كتابه *هيئة الأفلاك* (أو كسوفود، خطوطه يودلين، ٣١٤٤).

يمكن أن نضيف، في إطار علم فلك بطليموس، أن شرح ثيون الإسكندري لكتاب المجسطي كان موجوداً باللغة العربية في غضون القرن التاسع للميلاد، إذ إننا نجد، في مؤلف يعقوب بن اسحق الكندي (المتوفى حول ٨٧٣م): كتاب في الصناعة العظمى، استشهادات حرة طويلة مأخوذة عنه<sup>(١٧)</sup>. إلا أن الترجمة العربية لمؤلف ثيون لم تصلنا.

كما قلنا سابقاً، لقد استطاع علم الفلك أن يتطور، على هذه الأسس خاصة، كعلم دقيق، ابتداء من القرن الثالث الهجري/ التاسع الميلادي في بغداد. ومن بين أوائل المؤلفات العربية في علم الفلك التي وصلتنا، لم يُنشر ولم يُشرح عملياً بالتفصيل حتى الآن إلا عدد ضئيل، ويجب الرجوع في أغلب الحالات إلى المصادر المخطوطة. لذلك فإن كل محاولة لعرض شامل حول هذا الموضوع لا يمكن أن تكون في الوقت الحاضر إلا عملية مؤقتة تجب إعادة النظر فيها كلما ظهرت نصوص منشورة ومشروحة بشكل جدي.

سوف نأخذ ببساطة بعض الأمثلة من أعمال أو براهين ذات مغزى للتخصص المرحلة الأولى من تطور علم الفلك العربي. وسيكون اهتمامنا، بالتحول التدريجي لنماذج الاستدلالات، أكبر من اهتمامنا بنتائج حساب مختلف وسائط حركات الكواكب، وذلك على الرغم من الأهمية الخاصة لهذه النتائج.

## ثانياً: علم الفلك العربي في الشرق خلال القرن التاسع

نستطيع، لكي نعرض بداية تطور هذا العلم، أن نقسم أعمال مختلف العلماء الذين بدأوا يشتغلون في هذا الميدان حسب المواضيع، من أبسطها إلى أكثرها إعداداً: انتشار علم فلك بطليموس، ثم التحليل الناقد لنتائجه، وأخيراً الترييض الدقيق للاستدلالات الفلكية؛ وسوف نستعرض، في شبه ملحق لهذه الدراسة، آثار البتاني، عالم الفلك الشهير، الذي عمل في الرقة عند ملتقى القرنين التاسع والعاشر للميلاد.

### ١ - انتشار علم فلك بطليموس

لقد ألفت عدة كتب، منذ النصف الأول للقرن التاسع للميلاد، لعرض نتائج المجسطي بطريقة مبسطة أو لتلخيصها، وذلك لنشر مضمون هذا المؤلف الأساسي، في أوسع نطاق ممكن، خارج الدائرة الضيقة لعلماء الفلك المتخصصين. وقد ألف أحمد بن محمد بن كثير الفرغاني الكتاب الأكثر شهرة ضمن هذا النوع من الكتابات الفلكية. وكان

(١٧) حول نشر النص، انظر: أبو يوسف يعقوب بن اسحق الكندي، كتاب في الصناعة العظمى، تحقيق ونشر عزمي طه السيد أحمد (قبرص: دار الشباب، ١٩٨٧)، وحول تحليل النص، انظر:

Franz Rosenthal, «Al-Kindi and Ptolemy», in: *Studi orientalistici in onore di G. Levi Della Vida* (Rome: [n. pb.], 1956), tome 2, pp. 436 - 456.

الكتاب الأكثر انتشاراً باللغة العربية في أول الأمر (يدل على ذلك العدد الكبير لمخطوطاته التي أحصيت في كل العصور وفي كل المناطق). ثم انتشر باللغة اللاتينية (إذ أنجزت له ترجمتان متتابعتان في القرن الثاني عشر للميلاد). وقد نُقل هذا الكتاب بعدة أسماء أكثرها استخداماً هو كتاب في جوامع علم النجوم<sup>(١٨)</sup>.

ونحن لا نعرف إلا القليل عن الفرغاني الذي عمل ضمن فريق العلماء الذي جمعه المأمون (٨١٣ - ٨٣٣م)، وتوفي بعد سنة ٨٦١م. وقد أُلّف كتابه، على الأرجح، بعد سنة ٨٣٣م وقبل سنة ٨٥٧م. والكتاب عبارة عن موجز في علم الكون، وتحتوي النشرة التي أخرجت منه على حوالي مئة صفحة. يعرض فيه الفرغاني في ثلاثين فصلاً كيف يظهر الكون حسب النتائج التي حصل عليها بطليموس. والكتاب وصف بحث لا يتضمن أي برهان رياضي، نجد فيه حل التواليف وصفاً لمختلف حسابات الأشهر والسنين وفقاً للتقاويم العربية والسريانية والبيزنطية والفارسية والمصرية، وتبريراً لكروية السماوات والأرض وأن الأرض ثابتة في مركز الكون في حين أن للسماوات حركتين دائريتين. كما نجد فيه إثباتاً لوضع فلك البروج المائل بالنسبة إلى خط الاستواء، ووصفاً للقسم المكون من الأرض مع الأقاليم السبعة ومختلف المناطق والمدن. كما نلقى فيه وصفاً لأبعاد الأرض، وحركة الكواكب المتحركة السبعة في الطول والعرض المبينة بهيئات الأفلوك الخارجة المراكز وأفلاك التدوير. كما نجد فيه وصفاً لحركة مبادرة الاعتدالين للكواكب الثابتة والأبعاد الكواكب ومسافاتها إلى الأرض، وللبزوغات والأفولات الشرقية والغربية، ولأوجه القمر واختلاف مظهره وخسوفات القمر والشمس.

وهكذا تعرّض هذا الكتاب إلى المسائل الرئيسة في علم الفلك القديم، وهذا ما يفسر وجود عدة شروحات له من قبل علماء رفيقي المستوى، ومنهم البيروني خاصة<sup>(١٩)</sup>. يكاد يكون بطليموس مصدر الفرغاني الوحيد، ولكنه صُحِّح لبطليموس عدة نقاط تبعاً للنتائج التي حصل عليها علماء فلك المأمون. وقد تمحّل ذلك في تصحيح ميل فلك البروج من 23; 51 إلى 23; 33، وفي التأكيد أن أوجي الشمس والقمر يتبعان حركة مبادرة الاعتدالين للنجوم الثابتة، وفي استخدام قياس دائرة الأرض الذي تم في عهد المأمون. بالإضافة إلى ذلك، أكد الفرغاني أن لبطليموس لم يحسب سوى أبعاد الشمس وأبعاد القمر

(١٨) شاع هذا الشرح الذي يجري ٢٠٠ صفحة.

(١٩) انظر: الفرغاني، كتاب في الحركات السماوية وجوامع علم النجوم، نشر النص العربي Golius (المستردم): د. ن.، ١٦٦٩؛ النص اللاتيني: *Al-Farghānī: Al-Farghānī Differentia scientie astrorum*, edited by Francis J. Carmody (Berkeley, Calif.: [n. pb.], 1943), et celle de Gérard de Crémone: *Alfragano (al-Fargānī) Il 'Libro dell'aggregazione dell' stelle'*, pubblicato con introduzione e note da Romeo Campani, Collezione di Opuscoli Danteeschi inediti o rari; 87 - 90 (Città di Castello: S. Lapi, 1910).

والمسافة بينهما، وهذا ما يدل على أنه كان مطلعاً على المجسطي فقط وليس على كتاب الاختصاص. ثم أعطى قيمةً عديدة مطابقة لتلك الموجودة في الكتاب الأخير، دون أن يذكر مصدرها.

وقد وصلتنا كتب أخرى ألّفت بطريقة مماثلة، نذكر منها خاصة كتاباً ما زال غير منشور لقسطا بن لوقا، وكتابين بمستوى علمي أرفع لثابت بن قرّة، وهي تتمحور خاصة حول حركات الكواكب وتعيد الأخذ باستدلالات القسم الأول من كتاب الاختصاص<sup>(٢٠)</sup>.

لقد أشاعت هذه النصوص علم الفلك وجمعت نتائجه بشكل مبسط، فأدت إلى «تعميم جيد المستوى» أنجز من قبل مختبرين في علم الفلك وانتشر بين الأوساط المثقفة في ذلك العصر. وقد أتبع هذا النهج في كل موجزات للمجسطي التي كتبها مؤلفو الموسوعات كابن سينا الذي أدخل موجزه لكتاب المجسطي في كتابه الفلسفي الكبير الشفاء.

## ٢ - التحليل النقدي لنتائج بطليموس

ما إن تُرجم المجسطي إلى اللغة العربية في عهد المأمون حتى بدأ العمل للتحقق من النتائج التي وزدت فيه. ولأجل ذلك وُضع أول برنامج للأرصاد الفلكية في بغداد ودمشق، كما أشرنا في المقدمة. وقد اتفقت سبعة سنة تقريباً بين زمن بطليموس وزمن علماء فلك المأمون الذين وجدوا في المجسطي بياناتٍ للحسابات وجداول تسمح نظرياً بحساب مواضيع الكواكب في وقت معين. وقد تمت المقارنة بين هذه الحسابات التي أجريت قبل سبعة سنة وبين معطيات الأرصاد المسجلة في بغداد ودمشق، فظهر تباين بين مجموعتي الأرقام التي حصل عليها.

وقد حمل هذا التباين الحتمي، بسبب تلك الفترة الطويلة من الزمن، علماء بغداد ليس إلى «إعادة عقارب الساعة إلى مواضعها» فحسب، أي إلى تصحيح كل سطر من سطور الجداول واستخدمها من جديد كما هي، بل إلى القيام بمراجعة نظرية لنتائج بطليموس لإعادة النظر في طرق العمل نفسها التي اقترحها وإعادة حساب وسائل مختلف الحركات. لناخذ ثلاثة أمثلة شاهدة على هذا العمل ابتداء من القرن التاسع: الزيج الممتحن، وكتاب في سنة الشمس، وأعمال حبش الحاسب.

---

(٢٠) أنظر: Thābit Ibn Qurra, *Ouvrages d'astronomie*, texte établi et traduit par Régis Morelon (Paris: Les Belles lettres, 1987), traités 1 et 2.

نص قسطا بن لوقا المذكور في الحاشية رقم (١٦).

## ١ - الزيج الممتحن

تطلق عبارة «الزيج الممتحن» بمعناها العام على مجموعة من الجداول موضوعة استناداً إلى أرصاد مضمونة علمياً إلى أبعد حد ممكن. ولكن عندما ترد هذه العبارة دون أي تحديد، يُقصد بها المجموعة الأولى باللغة العربية من الجداول الفلكية المستندة إلى أرصاد منجزة في مرصدَي بغداد ودمشق. وكان المأمون قد كلف يحيى بن أبي منصور (ت ٢١٧هـ/ ٨٢٢م) بتنسيق هذا العمل الشامل. وكان لهذه الجداول تأثير كبير لأنها حوت أول سلسلة من الأرصاد العلمية الدقيقة المسجلة منذ عهد بطليموس حسب نفس النهج الفلكي الهلينستي. وقد استشهد بها بشكل واسع الفلكيون اللاحقون الناطقون باللغة العربية، نذكر منهم على سبيل المثال ابن يونس والبيروني.

لم يصل إلينا النص الأصلي الكامل لـ «الزيج الممتحن»<sup>(٢١)</sup>، إلا أن النتائج التي سُجلت فيه والتي استُشهد بها بشكل جزئي من قِبَل مؤلفين لاحقين تدل على أن الوسائط المختلفة لحركات الكواكب قد حُسبت فيها من جديد<sup>(٢٢)</sup>. ولكن أهم نتيجة لأرصاد هذه الجداول تخص حركة الشمس: إذ إنها تدل على أن أوج فلك الشمس مرتبط بحركة مبادرة الاعتدالين للنجوم الثابتة، بعكس ما أكده بطليموس الذي كان يعتبر أن هذا الأوج لا ينضج لأية حركة أخرى غير الحركة اليومية<sup>(٢٣)</sup>.

ونحن لا نستطيع حالياً أن نُثبت، بشكل واضح، وجود صلة بين هذه النتيجة لـ «الزيج الممتحن» وبين كتاب في سُنّة الشمس، مع أننا نجد في هذا الكتاب الأخير البرهان على العلاقة بين حركة الشمس وحركة النجوم الثابتة.

---

(٢١) النص العربي Escorial (٩٢٧) يحمل بوضوح العنوان «الزيج الممتحن حسب أرصاد المأمون»، ولكنه يحوي كثيراً من العناصر المخاخرة من القرن التاسع. انظر تحليل هذا النص في: Juan Vernet, «Las Tabule Probatae» in: *Homenaje a Millás - Valtierra*, 2 vols. (Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1954 - 1956), vol. 2, pp. 501 - 522, and Edward S. Kennedy, «A Survey of Islamic Astronomical Tables», *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.), vol. 46 (1956), pp. 145 - 147.

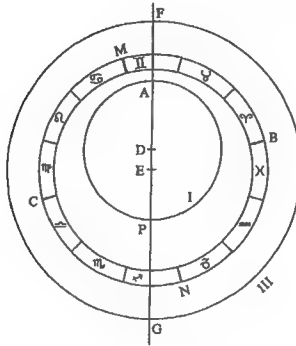
(٢٢) هي جمعة على شكل جدول في: 'Ali Ibn Sulaymān al-Hāshimī, *The Book of the Reasons behind Astronomical Tables = Kitāb fi 'ilal al-zījā*, reproduction of the unique arabic text contained in the Bodleian ms. arch. Seld A. 11, with a translation by Fuad I. Haddad and E. S. Kennedy and a commentary by David Pingree and E. S. Kennedy, *Studies in Islamic Philosophy and Science* (Delmar, N. Y.: Scholar's Facsimiles and Reprints, 1981), pp. 225 - 226.

(٢٣) ذكر في: Thābit Ibn Qurra, *Ouvrages d'astronomie*, traité 2, p. 22, lignes 4 - 5, and الفرغاني، كتاب في الحركات السماوية وجوامع علم النجوم، ص ٥٠ - ٥٣.



## ب - كتاب في سنة الشمس (٢٤)

تنسب المخطوطات هذا الكتاب إلى ثابت بن قرة، ولكن التحليل النقدي الدقيق للنص يبين أنه سابق لهذا المؤلف، وأنه قد كُتب على الأرجح في إطار فريق العمل الذي تكون حول بني موسى قبل انضمام ثابت بن قرة إلى هذا الفريق، أي قبل منتصف القرن التاسع. ينتقد مؤلف هذا الكتاب دراسة بطليموس لحركة الشمس وحساب السنة. لنذكر بسرعة مضمون المجسطي بهذا الصدد.



الشكل رقم (٢ - ١)

لتكن النقطة B التي يوجد فيها الراصد على الأرض الثابتة في مركز الكون. تتحرك الشمس بحركة دائرية مستوية على دائرة خارجة المركز بالنسبة إلى الأرض وهي الدائرة (I) ذات المركز D. توجد على هذه الدائرة نقطتان مهمتان هما الأوج A والحضيض P. والنقطة E هي كذلك مركز فلك البروج الذي هو الدائرة (II) أي مسار الشمس الظاهري في السماء على مدى السنة. والنقط المرجعية على فلك البروج هي نقطتا الاعتدال B و C

Thābit Ibn Qurra, Ibid., pp. 26 - 27.

(٢٤) النص العربي لهذا المؤلف منشور في:

انظر مقدمته، من ص ١٧١ إلى صفحة ١٨٩، وملحقه من ١٨٩ - ٢١٥ حيث فصلت الحجج الملخصة هنا.

ونقطتنا الانقلاب  $M$  و  $N$ . يقطع المستوي المشترك لهاتين الدائرتين كرة الكواكب الثابتة وفق الدائرة (III) المرتكزة في النقطة  $B$  أيضاً.

تُسم الشمس في سنة واحدة دورة كاملة على فلكها الخارج المركز (I)، بحركة مستوية دورية. إن مدة هذه الدورة ثابتة مهما كانت نقطة الانطلاق، ومساوية لقيمة «السنة الاختلافية»، أي للوقت اللازم لعودة الشمس إلى نفس النقطة من فلكها. هذه القيمة هي الوحيدة التي يمكن اعتبارها ثابتة مرجعية، غير أنها غير قابلة للقياس مباشرة ابتداء من النقطة  $B$ ، لأن الفلك الخارج للمركز لا يحوي أي عنصر مرجعي كافٍ الدقة. ويجب على الراصد أن يجدد بشكل واضح موقع الدائرة (I) بالنسبة إلى الدائرة (II) وإلى الدائرة (III).

عندما نرصد من النقطة  $B$  حركة الشمس على الفلك (II) ونقيس فترة الزمن التي تفصل بين مرورين متتاليين للشمس في نفس النقطة، نقطة الاعتدال الربيعي مثلاً، نحصل على قيمة «السنة المدارية».

أما إذا راقبنا من النقطة  $B$  حركة الشمس على الدائرة (III) وقسنا فترة الزمن التي تنقضي بين قرأتين متتاليتين للشمس مع نفس النجمة، نحصل على قيمة «السنة النجمية».

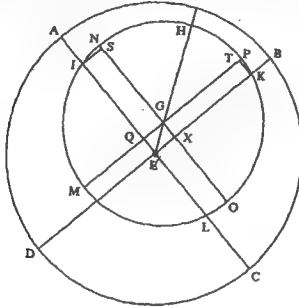
ولو كانت الدوائر الثلاث (I) و (II) و (III) ثابتة بالنسبة إلى بعضها لأصبحت القيم الثلاث للسنة الشمسية المعروفة سابقاً متساوية تماماً. وهي في الواقع ليست كذلك. لذلك كانت المسألة بالنسبة إلى علماء الفلك القدامى هي كيفية تحديد الثابتة المطلقة الوحيدة، أي قيمة «السنة الاختلافية» على الفلك (I)، وذلك انطلاقاً من رصد الحركة غير المستوية للشمس على الفلكين (II) و (III).

إن المقالة الثالثة في المجسطي خصصة لدراسة حركة الشمس. وقد تحقق فيها بطليموس أولاً، تأيماً بذلك أبرخس، أن «السنة النجمية» أطول بقليل من «السنة المدارية»، ولكنه ركز جهده على هذه الأخيرة ليبين أنها الثابتة المطلقة المطلوبة. ثم طابق قيمة «السنة المدارية» مع قيمة السنة الاختلافية، وذلك بجعل الفلك (I) ثابتاً بالنسبة إلى الفلك (II)، وجعل الفلك (III) يتحرك بالنسبة إليهما بحركة مبادرة الاعتدالين التي قدرها بطليموس بدرجة واحدة في القرن الواحد.

يستند بطليموس على الشكل التالي لحساب وسائط فلك الشمس الخارج المركز:

• يوجد الراصد في النقطة  $E$  مركز الدائرة  $ABCD$  التي هي فلك البروج. والدائرة  $MNOP$  ذات المركز  $G$  هي الفلك الخارج المركز الذي تتحرك عليه الشمس.  $A$  و  $C$  هما نقطتنا الاعتدالين، و  $B$  هي نقطة الانقلاب الصيفي. أما الخطان المستقيمان  $MQGP$  و  $NGXO$  فهما متوازيان تقريباً لـ  $ABC$  و  $DEB$ ، والخط المستقيم  $EGH$  يقطع الفلك الخارج المركز في نقطة  $H$  التي هي أوجه. إن قياس لحظات مرور الشمس في النقط  $A$ ،  $B$  و  $C$  يسمح بعد حساب بسيط مستند على الحركة الوسطى للشمس، بالحصول على قيم أنواس

الفلك الخارج المركز: IL، IK، KL، IN، PK، LO، وهذا ما يسمح بحساب كل الوسائط. وهكذا وجد بطليموس، بعد قسم شعاع الفلك الخارج المركز إلى 60 جزءاً متساوياً، أن قيمة خروج المركز BG تساوي 2:30 جزءاً وأن الأوج يقع على بعد 5:30 من الجوزاء ويبقى ثابتاً على فلك البروج. ووجد كذلك أن طول «السنة المدارية» (أي الفترة اللازمة لرجوع الشمس إلى نفس النقطة على فلك البروج) ثابت ومساوٍ لـ 365;14,48 يوماً.



الفلك رقم (٢ - ٢)

لقد تحقق مؤلف كتاب في سنة الشمس على أثر الأرصاد التي أُنجزت في بغداد بين سنة ٨٣٠م وسنة ٨٣٢م، أي حول سنة ٧٠٠ سنة بعد المجسطي و٩٥٠ سنة بعد إيرخس، أن أوج الشمس يقع على بعد 20;45 من الجوزاء، وأن هذا التحرك بمقدار 15;15 منذ زمن أرصاد إيرخس مماثل للتحرك الناتج عن حركة مبادرة الاعتدالين للنجوم الثابتة الذي بلغ 13;10 من قلب الأسد، إذا ما اعتبرنا أخطاء الأرصاد التي كان الكاتب مدرّكاً لها تماماً. وهذا ما أدى به إلى الربط بين الدائرتين (II) و(III) في الشكل رقم (٢ - ١) وإلى الاستنتاج بأن أوج الفلك الخارج المركز خاضع لحركة مبادرة الاعتدالين. وهكذا فإن السنة الاختلافية لا تطابق السنة المدارية بل السنة النجمية التي هي الثابتة المطلقة الوحيدة. ولكن هذه السنة النجمية ليست إلا مرجحاً نظرياً، ويجب أن يستنتج منها قيمة السنة المدارية التي هي المرجع العملي الوحيد الذي يسمح بتحليل الوقت الأرضي على مدى السنة.

وبما أن الفلك الخارج المركز يتحرك بالنسبة إلى فلك البروج، لا يمكن قياس طول السنة المدارية مباشرة بقياس فترة الزمن الفاصلة بين مرويين متتاليين للشمس في نفس

النقطة على فلك البروج. ولا يتم الحصول على طول هذه السنة المدارية إلا نتيجة لحساب يُنجز استناداً إلى قيمة السنة النجمية وإلى قيمة ثابتة مبادرة الاعتدالين. في الواقع، إذا نظرنا إلى الحركة الوسطى للشمس على الفلك الخارج المركز ابتداءً من الأوج، نجد أن هذا الأخير يتحرك قليلاً بسبب حركة مبادرة الاعتدالين. لكل من هاتين الحركتين قيمة ثابتة. ويجب الجمع بينهما إذا أردنا نسبة الحركة الوسطى إلى فلك البروج.

وهكذا يرفض مؤلف كتاب في سنة الشمس بشكل قاطع نتائج بطليموس وحساباته وشك بجودة أرصاده: إنه يقارن أرصاد بطليموس بأرصاده وأرصاد إيرخس، ويستنتج من ذلك ضرورة رفض نتائج أرصاد بطليموس. ويختم كما يلي انتقاده العنيف: «ولكن بطليموس، مع ما أوهم في أخذه زمان سنة الشمس من نقط فلك البروج، أوهم في الأرصاد أنفسها، ولم يأخذها على حقيقة، وكان هذا من وهمه أعظم ضرراً فيما رسم من الحساب»<sup>(٢٥)</sup>.

ويعتبر هذا المؤلف، على الرغم من انتقاداته، أن بطليموس لا يزال ذلك العالم الذي توصل إلى إعداد أحسن طريقة هندسية تسمح بحساب وسائل فلك الشمس. لذلك يأخذ المقالة الثالثة من المجسطي، ويستشهد بها مطولاً متبناً طريقته الهندسية، ويعيد تأليف هذا الكتاب مغيراً تصميمه أخذاً بكل محتواه، مستنداً على أرصاد إيرخس وأرصاده الخاصة فقط. وهو يعتمد في حسابهِ لوسائل فلك الشمس على الشكل السابق رقم (٢ - ٢)، الذي هو شكل بطليموس، ولكنه يغير اتجاه الأرصاد: فبالنسبة إليه النقطتان A و C ليستا نقطتي الاعتدالين، والنقطة B ليست إحدى نقطتي الانقلاب. ويبرر ذلك بقوله: «ولعسر أرصاد الانقلابات لا تُدخل في قياساتنا الثلاثة شيئاً من أرصاد الانقلابات. وأما بطليموس، فإنه أدخل في القياسات الثلاثة، التي عرف بها اختلاف الشمس، قياس المقلب الصيفي، ولستأ نرى ذلك، بل نظن أنه من قلة التوفّي في الزلزل والخطأ»<sup>(٢٦)</sup>.

في الواقع، إن تغير الميل الزاوي للشمس ضعيف جداً عندما تكون الشمس على وشك المرور في إحدى نقطتي الانقلاب، لذلك كان من الصعب تحديد لحظة مرور الشمس في هذه النقطة بشكل مضبوط. وهكذا عمد مؤلف الكتاب إلى إزاحة الأرصاد الثلاثة بمقدار 45°، فقام مرور الشمس على فلك البروج في منتصف برج الدلو وفي منتصف برج الثور وفي منتصف برج الأسد. ثم تبع طريقة للمجسطي في الحساب بعد تقديرها<sup>(٢٧)</sup>، أي أنه استخدم جيوب الأقواس بدلاً من أوتارها<sup>(٢٨)</sup>، فحصل على النتائج التالية<sup>(٢٩)</sup>:

(٢٥) انظر: للمصدر نفسه، الكتاب ٣، ص ٦١.

(٢٦) انظر: للمصدر نفسه، الكتاب ٣، ص ٤٩.

(٢٧) انظر الفصل الخامس عشر من الجزء الثاني من هذه الموسوعة وهو بعنوان: «علم الثلاثات: من الهندسة إلى علم الثلاثات».

(٢٨) النتائج للمطلة بين قوسين تحسب من جديد في زمنها (سنة ٨٣٠).

موقع أوج الشمس: على بعد  $20;54^{\circ}$  من برج الجوزاء ( $22;53^{\circ}$ ).

ثابتة مبادرة الاعتدالين:  $0;0,49,49,39^{\circ}$  في السنة ( $0;0,50,1$ ).

السنة النجمية:  $365;15,23,34,33$  يوماً ( $365;15,22,53,59$ ).

السنة المدارية:  $365;14,33,12$  يوماً ( $365;14,32,9,20$ ).

خروج مركز الفلك الشمسي:  $2;6,40$ .

إن النتائج السابقة جيدة الدقة، إذا اعتبرنا إمكانيات الرصد في ذلك الوقت. إضافة إلى ذلك، يلعب كتاب في سنة الشمس دوراً بالغ الأهمية في فهم كيفية حصول التطور الأول لعلم الفلك العربي، انطلاقاً من إرث بطليموس. لقد حُزِرَ هذا الكتاب منذ النصف الأول للقرن التاسع للميلاد، أي بعد فترة بسيطة من ترجمة المجسطي من قبل الحجاج. وهو يستشهد بكتاب للمجسطي، بشكل واسع، على طول ما يزيد على ثلث نصه. إنه يُظهر كيف درس بعض علماء الفلك العرب من الجيل الأول هذا النص الأساسي الذي هو للمجسطي، ويبين عدداً من التجديدات العلمية التي اعتُبرت مكتسبة استناداً إلى هذا العمل.

وإذا حاولنا تلخيص ما ورد سابقاً، نرى أن المؤلف قد اكتشف من ناحية، أن بطليموس قد ارتكب أخطاء حسابية، وخاصة في ثابتة مبادرة الاعتدالين، ومن ناحية أخرى أن أرصاد بطليموس أقل صدقية من أرصاد إيرخس، ولذلك طرح جانباً أرصاد بطليموس ونتائجها. وبعد أن تحقق من تحرك أوج الشمس ومن علاقته بحركة مبادرة الاعتدالين، أعد طريقة تسمح له بتحديد الوقت اللازم لعودة الشمس إلى القران مع نفس النجمة، وذلك لحساب السنة النجمية. لقد احتفظ باستدلالات بطليموس الهندسية وبكل المواد المعالجة في المقالة الثالثة من المجسطي بعد تعديل بسيط لتصميم الكتاب، وذلك بتغيير محل فصلين منه، ثم أعاد تركيب كل هذه العناصر. نظراً إلى النتيجة، يظهر أن تأليف كتاب في سنة الشمس لم يكن عملاً معزولاً، بل كان جزءاً من مشروع واسع هدف إلى إعادة كتابة المجسطي، مع الإبقاء على بنيته واستدلالاته النظرية، ومع حذف أرصاد وحسابات بطليموس. وقد احتفظ المؤلف بأرصاد إيرخس ليقارنها بنتائج الأرصاد الجديدة التي أنجزت في بغداد أو دمشق، وابتكر طرقاً جديدة للحساب انطلاقاً من الأسس النظرية التي اقترحها بطليموس<sup>(٢٩)</sup>. لا يُعرف إلى أي حد تمت فيه متابعة مشروع هذا للمجسطي الجديد، ولكن محتوى الكتاب الذي تحدثنا عنه وبنيته يظهران بوضوح أن هذا العمل الكبير قد وُضع موضع التنفيذ في بغداد في النصف الأول من القرن التاسع للميلاد، ضمن إطار المدرسة التي تكونت حول بني موسى.

ونستطيع كذلك أن نُحصى، في كتاب في سنة الشمس، عدداً من التجديدات التي

Thābit Ibn Qurra, Ibid., pp. lx - lxii.

(٢٩) انظر تفصيل هذا الاستدلال في:

أخذ بها الفلكيون اللاحقون. قبل كل شيء، لقد أصبح مقروءاً، بعد تحرير هذا الكتاب، أن أوج فلک الشمس يتحرك بالنسبة إلى فلک البروج، وأنه يجب إقامة علاقة بين السنة النجمية، وثابتة مبادرة الاعتدالين والسنة المدلوية (ولكن يجب انتظار عالم الفلك الأندلسي الزرقالي، في آخر القرن الحادي عشر للميلاد حتى نحسب حركة أوج الشمس الخاصة بالإضافية التي تبلغ 19 دقيقة في القرن). بعد ذلك، إن مؤلف الكتاب، بعكس ما فعله بطليموس، يربط حركة أوج فلک الشمس وحركة أوج فلک القمر إلى حركة مبادرة الاعتدالين لكرة النجوم الثابتة على غرار حركة أوج فلک أي كوكب آخر. وهكذا، فإن كرة النجوم الثابتة تسبب، بحركتها، حركة كل الكرات السماوية. وبذلك لم يعد للشمس ولا للقمر وضع خاص في الكون، ويصبح فلک البروج مجرد دائرة نظرية يجب إبعادها إلى ما وراء كرة النجوم الثابتة، أما وضعها فهو قابل للتعيين بواسطة مرور الزمن الأرضي وتواتر الفصول. وأخيراً، فإن إزاحة اتجاهات أرساد الشمس الثلاثة بمقدار 45°، التي أجريت لتجنب الأخطاء في قياس نقطتي الانقلاب، قد اعتمدت من قِبَل علماء الفلك اللاحقين في حسابهم لوسائط حركة الشمس<sup>(٣٠)</sup>.

### ج - أعمال حَبَش الحاسب

لا نعرف إلا القليل عن حياة حبش الذي كان أحد علماء فلک المأمون. لقد كان حياً في سنة ٢٥٤هـ/٨٥٩م، إذ إن حساباً قد نسب إليه في تلك السنة، ولا نعرف وقت وفاته. وقد نُشر له مؤلف واحد غير كامل، وهو كتاب صغير في أبعاد ومسافات الكواكب، محفوظ جزئياً في مخطوطة وحيدة<sup>(٣١)</sup>. وقد حُفظ له مؤلف كبير هو الزيج الدمشقي، في نسختين مختلفتين إحداهما في إسطنبول والثانية في برلين. من الواضح أن مخطوطة برلين قد حُيرت من قبل أيدي لاحقة. أما مخطوطة إسطنبول، فيبدو أن نصها قريب بما فيه الكفاية من نص حبش الأصلي. وهي لم تُنشر بعد<sup>(٣٢)</sup>.

يندرج هذا المؤلف ضمن تقليد بطليموس، ولكن ليس المقصود من تأليفه إعادة كتابة

(٣٠) انظر التعليق حول هذه القطعة، في: Otto Neugebauer, «Thābit ben Qurra «On the Solar Year» and «On the Motion of the Eighth Sphere»,» *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 106, no. 3 (June 1962), pp. 274 - 275.

(٣١) انظر: Y. Tzvi Langermann, «The Book of Bodies and Distances of Ḥabash al-Ḥāshib», *Centaurus*, vol. 28 (1985), pp. 108 - 128.

(٣٢) لقد حلت ديبارنو عنى هذه المخطوطة بالتفصيل. انظر: Marie - Thérèse Debarnot, «The Zij of Ḥabash al-Ḥāshib: A Survey of MS Istanbul Yeni Cami 784/2», in: David A. King and George Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 500 (New York: New York Academy of Sciences, 1987), pp. 35 - 69.

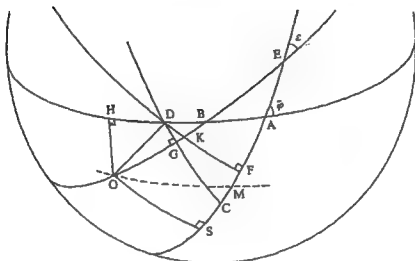
المجسطي، كما كان المقصود جزئياً من تأليف كتاب في سنة الشمس. لقد أخذ حبش من المجسطي ببساطة كل ما كان يبدو له قابلاً للتغيير تبعاً لدراساته الخاصة ولنتائج أولى الأعمال الفلكية النظرية المنجزة في بغداد ودمشق. وهكذا تحب دراسة هذا الكتاب بشكل مواز لدراسة للمجسطي، لأنه لا يهدف إلى أن يكون بديلاً عن الكتاب الأخير. إن قسماً مهماً من الزيج الهمشقي يبحث في حساب المثلثات: إذ يعتمد حبش الحاسب فيه إلى «تجديث» استدلالات المجسطي بإدخال الجيوب وجيوب التمام والظلال مكان أوتار الأقواس، ويقترح صيغاً كاملة للتطبيق في الحسابات الفلكية المختلفة. وسنرى كل هذا بالتفصيل فيما بعد في الفصل الخامس عشر: علم المثلثات. سنستعرض الآن بعض نقاط علم الفلك البحث الواردة في الكتاب.

يبحث القسم الأول في علم التواريخ وفي الانتقال بين التقاويم المختلفة - من هذه التقاويم الفارسي والمصري واليوناني والهجري،... الخ. - وذلك لحساب التواريخ الموافقة في التقاويم المختلفة لتاريخ معين مع إعداد جداول التوافق بينها. بالإضافة إلى ذلك، عمد حبش الحاسب إلى كتابة جداول حركات النجوم استناداً إلى السنة القمرية التي أعاد حسابها بعناية كبيرة، إذ إنها السنة الرسمية في مجتمعه. ولكن علماء الفلك العرب لم يسلكوا هذا النهج لأن السنة القمرية، في مجال الحسابات والاستدلالات الفلكية، أقل ملاءمة بكثير من السنة الشمسية ذات الأشهر المتساوية بطول ثلاثين يوماً والمستخدمة في عالم بطليموس الهلنستي وفي بلاد القوس.

يقارن حبش الحاسب، على امتداد كتابه، الوسائط التي حسبها بطليموس لحركات مختلف الكواكب، مع حساباته الخاصة، ويعدل تبعاً لذلك، بطريقة منهجية، تركيب كل جدول من جداوله، دون أن يتطرق ثانية إلى المظهر النظري للهيئات الهندسية. ولكن أهم تجديد نظري لحبش الحاسب يكمن في دراسته إمكانية رؤية هلال القمر. لم تعالج مسألة إمكانية رؤية هلال القمر في علم الفلك اليوناني، ولكن بعض طرق الحساب قد أعدت من أجل هذا الغرض في علم الفلك الهندي. وقبل أن نعرض الحل الذي اعتمده حبش الحاسب، سنذكر حلين سابقين له تبعاً لمختلف العناصر المرجعية على الكرة السماوية.

إن لكل من الشمس والقمر، في وضع الأرض الثابتة في مركز الكون، حركة خاصة يومية في الاتجاه العاكس لاتجاه الحركة النهارية، ومقدار حركة الشمس ينقص قليلاً عن درجة واحدة، أما حركة القمر فتتغير بثلاث عشرة درجة من جهتي فلك البروج (قوس العرض الأقصى للقمر يساوي خمس درجات). وهكذا فيلحق القمر بالشمس كل شهر ويتجاوزها، فيصبح الهلال مرئياً من جديد على الأفق الغربي تماماً بعد غروب الشمس، وتكون بذلك بداية شهر قمري جديد. الشكل رقم (٢ - ٣) يكون فيه القمر في نقطة الأفول D، بحيث يكون DG قوس عرض القمر. والشمس هي تحت الأفق في النقطة O. أما HDA فهو أفق مكان الرصد B هي أقرب نقطة اعتدال (وهي هنا نقطة

الاعتدال الخريفي). OGE هو فلك البروج وMAE هو خط الاستواء السماوي، OM هو موضع الأفق عند غروب الشمس، OH تمثل مسافة الشمس إلى الأفق عند أقول القمر، OG هي المسافة الطولية بين الشمس والقمر، أما الزاوية ذات الرأس A بين الأفق وخط الاستواء فهي مساوية لتمام عرض المكان.



الشكل رقم (٢ - ٣)

لقد اقتبس يعقوب بن طارق والخوازمي، المؤلفان اللذان ذكرناهما سابقاً، حلاً هندياً يستند على الفترة الزمنية التي تفصل بين غروب الشمس وغروب القمر، أي على القوس AM في الشكل السابق<sup>(٢٣)</sup>. وهما يؤكدان أن الهلال يكون مرئياً في اليوم المعين إذا بين الحساب أن هذا القوس مساوٍ على الأقل لـ  $12^\circ$ ، أي ما يعادل ثمانياً وأربعين دقيقة بين غروب الشمس وأقول القمر.

لقد تبع جيش الحاسب التقليد الذي ابتكره بطليموس لدراسة قابلية رؤية النجوم الثابتة والكواكب على الأفق<sup>(٢٤)</sup>. لم يتعرض بطليموس أبداً لمسألة قابلية رؤية هلال القمر، بل ركّز

(٢٣) انظر: Edward Stewart Kennedy: «The Lunar Visibility Theory of Ya'qūb Ibn Ṭāriq».

*Journal of Near Eastern Studies*, vol. 27 (1968), pp. 126 - 132, and Mardiros Janjanian, «The Crescent Visibility Table in al-Khwārizmī's Zīj», *Centaurus*, vol. 11, no. 2 (1965), pp. 73 - 78.

وقد أعيد نشر هذين المقالين في: Edward Stewart Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences* (Beirut: American University of Beirut, 1983), pp. 151 - 163.



دراسته على قابلية رؤية الكواكب الأخرى وعلى بزوغها وأقفلها وعلى ضيائية الجو على الأفق، أي على «قوس انحطاط الشمس تحت الأفق» قبل شروقها أو بعد غروبها، وهو القوس OH في الشكل السابق. وقد حدد بطليموس القيمة التي يجب أن يأخذها هذا القوس لكي يصبح كوكب معين مرئياً على الأفق. وقد سُميت هذه القيمة فيما بعد، في المصادر اللاتينية، «*carcus visionis*» أي «قوس الرؤية». وقد اقتبس جش الحاسب هنا المفهوم وطبقه على حالة القمر، فتوصل، بعد أرصاد وحسابات إلى أن «قوس انحطاط الشمس عن الأفق» أو «قوس قابلية رؤية الهلال»، أي OH، يجب أن يكون مساوياً، على الأقل، لعشر درجات، لكي تُمكن رؤية الهلال القمري بعد غروب الشمس في اليوم التاسع والعشرين من الشهر القمري.

بقي هذا الاستدلال الذي قام به جش الحاسب مشهوراً. وقد اقتبسه البيروني كما هو بعد قرنين من الزمان، وذكره الكثير من المؤلفين اللاحقين كأحدى الطرق النموذجية لمقاربة مسألة قابلية رؤية الهلال الصعبة.

وهكذا يظهر جش الحاسب كراصدٍ أعاد قراءة المجسطي للثبوت من نتائجه، مواصلاً بذلك العمل الذي بدأ في عهد المأمون في إطار الفريق الذي حرر الزيج الممتحن. إلا أن عمله ذهب إلى أبعد مما قام به الذين سبقوه مباشرة، إذ إنه كَيْفَ وطُورَ بعض استدلالات بطليموس بعد أن استوعبها بشكل كامل. ولكنه مع ذلك، لم يغير برامجه بطليموس النظرية في جوهرها. وقد قام بهذه المهمة مؤلف آخر. وهذا هو موضوع الفقرة التالية.

### ٣ - تريبض الاستدلالات في علم الفلك

المؤلف الوحيد الذي سيستوقفنا هنا هو ثابت بن قرة الذي ولد في حران في بلاد ما بين النهرين العليا في سنة ٢٠٩هـ / ٨٢٤م على الأرجح، وتوفي في سنة ٢٨٨هـ / ٩٠١م. كانت لغته الأم اللغة السريانية، وكان يُتقن اليونانية إتقاناً تاماً. أما لغة عمله فكانت اللغة العربية. لقد كتب، وهو ضمن فريق بني موسى في بغداد، مؤلفات مبتكرة في كل العلوم المعروفة في عصره. وكان مشهوراً على الأخص كرياضي، وألف أكثر من ثلاثين كتاباً في علم الفلك، نُقل منها تسعة فقط باسمه. من هذه المؤلفات كتاب في سنة الشمس الذي نسب إليه خطأ، والذي تعرضنا إليه سابقاً. وهكذا يمكن أن نُقرِّم عمله في علم الفلك من خلال ثمانية كتب<sup>(٣٥)</sup>. سوف نستعرض ثلاثة من هذه المؤلفات الثمانية، الأول حول

(٣٤) انظر العرض المفصل في: Thābit Ibn Qurra, *Oeuvres d'astronomie*, pp. xxvi - xxx.

(٣٥) حفظت أعماله الفلكية باللغة العربية ونشرت وشرحت. انظر: المصدر نفسه. كل ما يتبع هو

ملخص لهذه الدراسة.

الدراسة النظرية لحركة كوكب على فلك خارج المركز، والثاني حول اختيار فترات الزمن لتحديد حركات القمر المختلفة، والثالث حول قابلية رؤية الهلال.

### أ - الدراسة النظرية لحركة كوكب على فلك خارج المركز<sup>(٣٦)</sup>

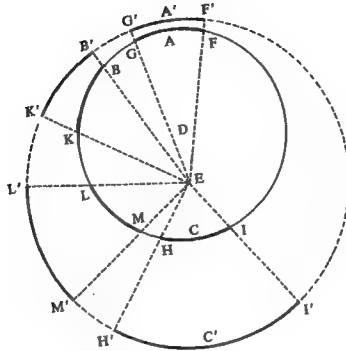
يتكلم بطليموس، عندما يدرس حركة الشمس على فلكها الخارج المركز عن تغير حركتها الظاهرية: «إن أكبر اختلاف بين الحركة المتوسطة والحركة التي تبدو غير مستوية، أي الاختلاف الذي نعرف به مرور الكواكب في مسافتها المتوسطة، يحدث عندما تكون المسافة الظاهرية من الأوج مساوية لربع دائرة وعندما يقضي الكوكب وقتاً أطول للذهاب من الأوج إلى هذا الوضع المتوسط، مما يلزمه للذهاب من هذا الوضع المتوسط إلى الحضيض»<sup>(٣٧)</sup>.

وهكذا يستنتج بطليموس أن أبداً حركة ظاهرة تحدث من جهة الأوج وأن أسرع حركة ظاهرة تحدث من جهة الحضيض، كما أن هناك مكاناً لحركة متوسطة بين الأوج والحضيض يوجد على بعد ربع دائرة من الأوج.

لقد بحث ثابت بن قرة هذه المسألة من جديد وبرهن نتائج بطليموس. لتأخذ كوكباً ما أو مركزاً لفلك التدوير يسير على الفلك الخارج المركز ABC ذي المركز D، بحركة دائرية مستوية. تراقب هذه الحركة من النقطة E حيث توجد الأرض على فلك البروج A'B'C'. الحركة الظاهرية هنا هي غير مستوية. يأخذ ثابت بن قرة أقواساً متساوية على الفلك الخارج المركز، يقضي الكوكب في اجتياز كل واحد منها نفس الفترة الزمنية لأن الحركة مستوية. هذه الأقواس هي GF الذي يتضمن الأوج A في وسطه، HI الذي يتضمن الحضيض C في وسطه، BK الذي يقع من جهة A وLM الذي يقع من جهة C (انظر الشكل رقم (٢ - ٤)).

يبرهن ثابت بن قرة، استناداً إلى الاستدلالات المستخرجة من أصول إقليدس، أن أقواس الحركة الظاهرية المرصودة على فلك البروج تحقق المتراسجات  $GF' < B'K' < I'M' < HP'$ ، مما يجعله يستنتج بشكل دقيق: «إذا كانت حركة كوكب، أو فلك ما، مستوية على فلك خارج المركز، فإن أبداً حركته، التي ترى له على فلك البروج، تكون إذا كان عند بعده الأبعد من فلكه الخارج المركز، وأسرعها إذا كان عند البعد الأقرب منه. وما قرب من حركته الباقية التي ترى له فيه من موضع البعد الأبعد أبداً مما بعد منها منه»<sup>(٣٨)</sup>.

(٣٦) عنوان المؤلف: «إلياء الحركة وسرعتها في فلك البروج بحسب المواضع التي تكون فيها من الفلك الخارج المركز». انظر: المصدر نفسه، من ص xxvi إلى ص lxxx، و٦٩ - ٨٧ وص ٢١٦ - ٢٢١. (٣٧) انظر: Ptolemaeus, *L'Almageste*, traduction française par N. Halma, tome 1, p. 174 et (٣٨) Figure (2 - a) de l'introduction.

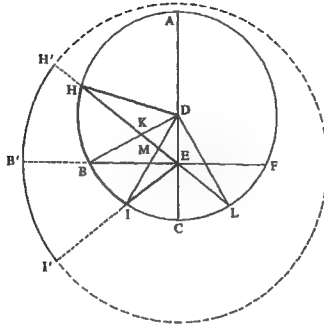


الشكل رقم (٢ - ٤)

نلاحظ هنا أن ثابت بن قرة يتكلم عن سرعة الكوكب في أوجه وفي حضيفه. وهذه، حسب ما نعلم، هي المرة الأولى في التاريخ التي يظهر فيها مفهوم السرعة في نقطة معينة.

هذه هي المبرهنة الأولى في هذا الكتاب. والمبرهنة الثانية ليست أقل أهمية منها. يأخذ ثابت ثانية الفلك الخارج المركز ABC ذات المركز B والأوج A والحضيض C، ويضع النقطتين B و F اللتين تفصلهما عن الأوج، على فلك البروج، مسافة ربع دائرة في الحركة الظاهرية (انظر الشكل رقم (٢ - ٥)).

ويبرهن عندئذ، مستخدماً مرة أخرى استدلالات مستخرجة من أصول إقليدس، أن قوس الحركة المتوسطة IH، الذي هو مجموع HB وBI، مساوٍ للقوس I'H' الذي هو مجموع قوسَي الحركة الظاهرية H'B' وI'A'، وأن «هناك اقتراب من التساوي بين الحركة المتوسطة وبين الحركة - الظاهرية، إذا قربت الحركة من النقطة B، ...، وهذا ما يحدث أيضاً عندما تقرب الحركة من النقطة F». ويستنتج من ذلك، أخذاً بعين الاعتبار المبرهنة السابقة: «وكلما قربت الحركة من إحدى النقطتين، B أو F، كانت أقرب إلى مساواة الحركة الوسطى، وكل حركتين توجدان عن جنبي إحداها من فلك البروج وتكونان متساويتين، فإن مجموعهما مساوٍ، على الحقيقة، للحركة الوسطى. وهاتان النقطتان هما اللتان تشبهان نقطتي الحركة الوسطى».



الشكل رقم (٧ - ٥)

إن هذا البرهان الرياضي الخالص يسمح له بتحليل الحركة الظاهرية والحركة المتوسطة المستوية، كل واحدة بالنسبة إلى الأخرى بشكل دقيق، وتحديد موقع محورين، الأول هو محور التناظر للحركة المتوسطة المستوية، عندما تراقب من النقطة B، والثاني هو BF محور التناظر للحركة الظاهرية على فلك البروج. وهكذا فإن الهيئة الهندسية المقترحة لتحليل حركة كوكب، تصبح هي الأخرى، بالنسبة إلى ثابت بن قرة، قابلة للتحليل النظري بواسطة الوسائل التي يوفرها تطور الرياضيات. وهذا ما يؤدي بثابت بن قرة إلى القيام بأول تحليل رياضي للحركة.

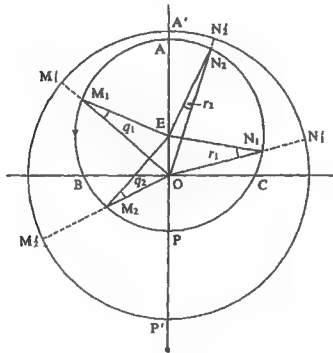
#### ب - اختيار فترات الزمن لتحديد حركات القمر المختلفة<sup>(٢٨)</sup>

راجع ثابت بن قرة، هنا أيضاً، مسألة طرحها بطليموس في بداية الكتاب الرابع من المجسطي. وقد أراد بناء كل دراسته لحركات القمر، على أرصاد كسوفات القمر، لأن هذه الكسوفات تمكن من تحديد المواقع النسبية للشمس والقمر دون أن يفسد خطأ اختلاف المنظر نتائج الأرصاد. وكانت حركة الشمس قد درست في المقالة الثالثة من المجسطي، لذلك يجب اختيار الفواصل الزمنية التي يحدث الكسوف في أطرافها دورياً، بحيث يكون

(٢٨) عنوان المؤلف: «في إيضاح الوجه الذي ذكر بطليموس أن به استخراج من تقلمه مسيرات القمر الدورية وهي المستوية»، أو «حركة النيزين». انظر: Thābit Ibn Qurra, *Ouvrages d'astronomie*, pp. lxxx - xcii, 84-92 et 222 - 229.

مؤكداً أن القمر قد أتم فيها رجعات كاملة على كل فلك من أفلاكه. فإذا عرفنا عدد هذه الرجعات، يمكننا تحديد دورية الحركات المختلفة للقمر. قبل أن نبين كيف حل بطليموس هذه المسألة، سنرى كيف طرحها ثابت بن قرة.

إنه يهتم بالشمس، في أول الأمر، فيأخذ من جديد محوري التناظر AP و BC، المحددين في كتابه السابق، لحركة كوكب على فلك خارج المركز. انظر الشكل التالي حيث يوجد الراصد في النقطة O مركز فلك البروج، وتكون النقطة E مركز الفلك الخارج المركز. تسري الشمس من النقطة  $M_1$  إلى النقطة  $M_2$  في الفترة الزمنية الأولى  $t_1$ ، ومن النقطة  $N_1$  إلى النقطة  $N_2$  في فترة زمنية ثانية  $t_2$  مساوية للأولى. للملك يكون قوسا الحركة المتوسطة  $M_1M_2$  و  $N_1N_2$  على الفلك الخارج المركز متساويين. ويقابل هذين القوسين قوسا الحركة الظاهرية  $M'_1M'_2$  و  $N'_1N'_2$  المرصودان على فلك البروج. ولكن النسبة بين القوسين الأخيرين تتعلق بموقعي  $M_1$  و  $M_2$  على الفلك الخارج المركز، وفقاً لتناقص الكتاب المشروح سابقاً.



الشكل رقم (٢ - ٦)

إذا سمينا  $q_1$  و  $q_2$ ،  $r_1$  و  $r_2$ ، ترتيباً، الفروق بين الحركة الوسطى والحركة الظاهرية للنقاط  $M_1$  و  $M_2$ ،  $N_1$  و  $N_2$ ، نحصل على:

$$N_1N_2 - N'_1N'_2 = r_2 - r_1 \quad \text{و} \quad M_1M_2 - M'_1M'_2 = q_2 - q_1$$

وهكذا يحصل ثابت بن قوة، بأخذه فترتين متساويتين من الزمن، أي  $t_1 = t_2$ ، على سبع حالات لتركيب الحركتين يمكن التعبير عنها بطريقة نظرية بحتة بواسطة العلاقات بين  $(q_2 - q_1)$  و  $(t_2 - t_1)$  ويمكن تطبيقها مباشرة على الشمس. هذه الحالات هي:

(١) تنطلق الشمس، في الفترة  $t_1$ ، من  $M_1$  وتعود إلى نفس النقطة بعد عدة دورات كاملة، وتنطلق، في الفترة  $t_2$ ، من النقطة  $N_1$  وتعود إليها. وهكذا يكون معنا بشكل بدائي  $q_2 - q_1 = t_2 - t_1$ .

$$q_2 - q_1 = t_2 - t_1 = 0 \quad (٢)$$

$$q_2 - q_1 = t_2 - t_1 > 0 \quad (٣)$$

$$q_2 - q_1 = t_2 - t_1 < 0 \quad (٤)$$

$$|q_2 - q_1| = |t_2 - t_1| \quad (٥)$$

$$q_2 - q_1 \neq t_2 - t_1 \quad (٦)$$

$$q_2 - q_1 = 0 \text{ و } t_2 - t_1 \neq 0 \quad (٧)$$

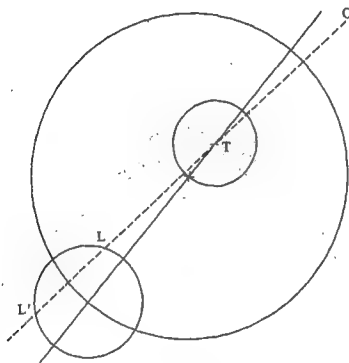
يحصل التعادل، خلال هاتين الفترتين المتساويتين، بين الحركات الظاهرية في الحالات ذات الأرقام ١، ٢، ٣، ٤، ويحصل التباين بين هذه الحركات في الحالات ذات الأرقام ٥، ٦، ٧. أما التعادل بين الحركة للمتوسطة والحركة الظاهرية فيحصل في الحالتين ١ و ٢ (الحالة رقم ٢ تطابق على المبرهنة الثانية). ويمثل الشكل رقم (٢ - ٦) الوضع العام للحالة رقم ٦.

يمكن، بواسطة مبرهنتي الكتاب السابق وبالاستناد إلى محوري التناظر، تحديد موضع النقط  $M_1$ ،  $M_2$  و  $N_1$ ،  $N_2$ ، التي هي مواقع انطلاق ووصول الشمس خلال الفترتين الزميتين المتساويتين، وذلك لكل حالة من الحالات السبع لتركيب الحركتين.

إن وضعية القمر أكثر تعقيداً، إذ إنه يتحرك على فلك التدوير الذي يتحرك هو الآخر على فلك خارج المركز. ولكننا في حالة تحصل فيها كسوفات القمر في أطراف الفترتين المشار إليهما، وهذا ما يسمح بإقامة علاقة بين حركة القمر وحركة الشمس، لأن الشمس والقمر يكونان، عندئذ، متقابلين حسب الشكل التالي:

إذا كانت الشمس في النقطة O، وكانت الأرض في النقطة T، يمكن للقمر الموجود على فلك التدوير، أن يكون في لحظة المقابلة مع الشمس في النقطة L أو في النقطة L'. يجد ثابت بن قوة، في هذا الوضع، سبع حالات لتركيب حركة القمر مشابهة لحالات تركيب حركة الشمس. إذا قطعت الشمس، في كل من الفترتين، في الحركة الظاهرية، مسافات زاوية متساوية، فإن القمر يفعل ذلك أيضاً. ولكن، لكي تتحقق حركات القمر

هذه على مختلف أفلاكه، يجب حذف الحالات التي يمر فيها القمر من  $L$  إلى  $L'$  على فلك التدوير بين طرفي كل من الفترتين. وهكذا نجيب مناقشة الحالات السبع، مما يؤدي إلى إبعاد الحالات ذات الأرقام ٥، ٦، ٧ بسبب وضع الشمس التي لها حركات ظاهرية غير متساوية في طرفي الفترتين، وكذلك إلى إبعاد الحالات ذات الأرقام ٢، ٣، ٤، لأن القمر يمر عندئذ من  $L$  إلى  $L'$  على فلك التدوير. فلا نستبقى إلا الحالة الأولى، حيث ينطلق القمر والشمس من نفس النقطة على فلك البروج ويعودان إليها، لأن كلا منهما يكون، في هذه الحالة فقط، قد أتم عدداً كاملاً من الرجعات على مختلف أفلاكه.



الشكل رقم (٢ - ٧)

وكان بطليموس قد قام كذلك بمناقشة حول فترتين زمنيتين متشابهتين، واختار للشمس أربع حالات<sup>(٣٩)</sup>:

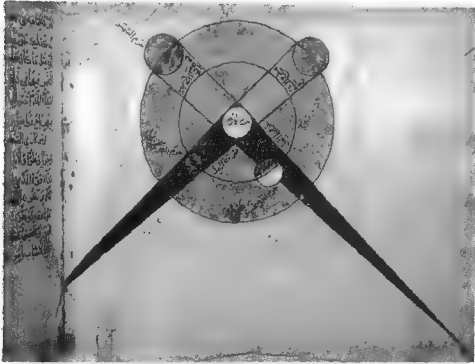
(أ) تجتاز الشمس دوائر كاملة في الفترتين  $t_1$  و  $t_2$  - وهذا ما يعادل حالة ابن قرّة الأولى.

(٣٩) انظر: Ptolemaeus, *L'Almageste*: édition du texte grec par J. L. Heiberg, tome 1, pp. 272 - 275, et traduction française par N. Halma, tome 1, pp. 218 - 220.

(ب) تنطلق الشمس في بداية الفترة ١٤ من الحضيض، وتصل إلى الأوج في نهايتها - وهذه وضعية خاصة من حالة ابن قرة الثانية.

(ج) تنطلق الشمس، في الفترتين ١٤ و ١٥، من نفس النقطة على فلك البروج - وهذه وضعية خاصة من الحالتين الثالثة والرابعة لابن قرة.

(د) نقطة انطلاق الشمس في الفترة ١٤ متناظرة، بالنسبة إلى الأوج أو الحضيض، مع نقطة وصولها في الفترة ١٥، والعكس بالعكس - وهذا ما يطابق الحالة الثالثة أو الحالة الرابعة لابن قرة.



الصورة رقم (٧ - ٧)

القرظوني، كتاب عجائب المخلوقات

(فلورانس، مخطوطة مكتبة لورانسiana، ٤٥).

وهو كتاب في علم نظام الكون وليس في الهيئة،

وهو نوع من «التعميم» عن الثقافة العامة.

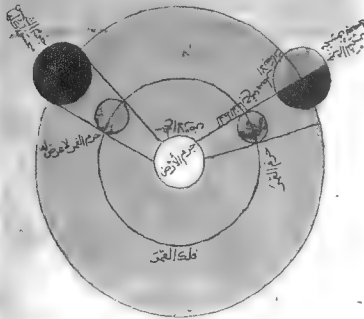
ويصف القرظوني فيه - من بين أمور أخرى - الظواهر السماوية.

ونرى هنا شرح كسوف القمر وكسوف الشمس تبعاً

للفرضية القائلة بأن الأرض هي المركز.



للقمر عرض عن قلب الأرض وخرج من المشرق في وسط البحر  
 ويتلصق الشمس كلما في أي كان للقمر عرض يخرج البحر ويطهر  
 الشمس بقدر أن ما يوجبه العرض فيتلصق بعضها وذلك إذا كان  
 العرض المروي أقل من نصف القطر من أعني قطر الشمس وقطر  
 القمر فإن كان العرض المروي مثل نصف القطر يماس القمر  
 عند قطر الشعاع ولا يتلصق الشمس وهذه صورتها



الصورة رقم (٢ - ٣)

القزويني، كتاب عجائب المخلوقات

(فلورانس، مخطوطة مكتبة لورانسiana، ٤٥).

وهو كتاب في علم نظام الكون وليس في الهيئة،

وهو نوع من «التعميم» عن الثقافة العامة.

ويصف القزويني فيه - من بين أمور أخرى - الظواهر السماوية.

ونرى هنا شرح كسوف القمر وكسوف الشمس

تبعاً للفرضية القائلة بأن الأرض هي المركز.

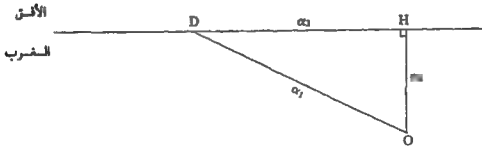
يتخصص بطليموس وضع القمر. بعد ذلك، فيحذف الحالات (ب)، (ج)، و(د)، ولا يحفظ إلا بالحالة الأولى، أي بحالة ابن قرة الأولى. إن استنتاجاتهما متشابهة، ولكن بطليموس يجري استدلالاته انطلاقاً من نقاط خاصة، بينما يأخذ ابن قرة المسألة بكل شموليتها، ويحللها تحليلًا كاملاً، فيصل إلى نتيجة غير قابلة للرفض (ضمن إطار الهيئات الهندسية المتبعة)، لأن تحليله النظري كامل الدقة.

### ج - قابلية رؤية الهلال

لقد اهتم ابن قرة، كسائر علماء الفلك العرب، بمسألة قابلية رؤية هلال القمر. وقد نُقل له كتابان في هذا الموضوع: كتاب في رؤية الأهلة بالجيوب، وكتاب في رؤية الأهلة من الجداول. الكتاب الأول نظري بحث، أما الكتاب الثاني فهو تبسيط للكتاب الأول من أجل تطبيقه العملي بواسطة الجداول<sup>(٤٠)</sup>.

لقد بحث ابن قرة، بشكل إجمالي، عن علاقة قابلية للتحديد كميًا بين ضيائية أول هلال قمري وضيائية الأفق تمامًا بعد غروب الشمس. وكما رأينا سابقاً، لقد اقتبس حيش الحاسب عن بطليموس، في دراسته لقابلية رؤية النجوم الثابتة والكواكب، مفهوم «قوس قابلية رؤية» الهلال وأعطى هذا القوس قيمة ثابتة تساوي  $10^\circ$ . ولقد جرى ابن قرة على هذا التقليد، ولكن حلّه أكثر تعقيداً لأنه لم يعتبر قيمة «قوس قابلية الرؤية» ثابتة. وهذا ما أوجب عليه تفسير هذه القيمة بحسابات متتالية تبعاً لأربعة متغيرات عرفها كما يلي:

التفسيرات الثلاثة الأولى هي الأضلاع الثلاثة للمثلث الكروي الأساسي المسمى OHD في الشكل السابق رقم (٢ - ٣)، حيث يكون موقع الشمس تحت الأفق في النقطة O، وتكون H «نقطة الأفق الأكثر إضاءة» على الخط العمودي للشمس، ويكون القمر في النقطة D عند أفوله. سنرمز إلى هذه الأقواس الثلاثة بـ  $\alpha_1$ ،  $\alpha_2$ ، و  $\alpha_3$ .



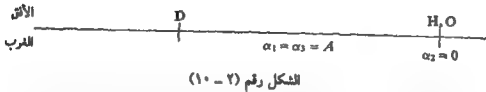
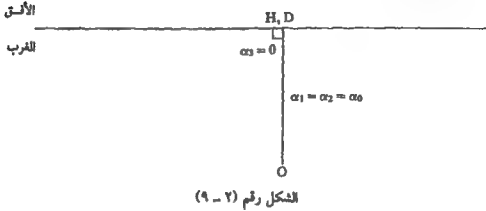
الشكل رقم (٢ - ٨)

Thābit ibn Qurra, Ibid., pp. xciii - cxvii, 94 - 116 and 230 - 259,

(٤٠) انظر:

للحصول على تفاصيل الشرح الآتي المقدم هنا بشكل موجز في محاولة لإعادة بناء النص حسب منهج المؤلف.

القوس الأول  $\alpha_1$  هو المسافة الزاوية بين القمر والشمس، وهو القوس الذي يحدد جزء الهلال المرئي من الأرض والمضاء بالشمس. القوس الثاني  $\alpha_2$  هو قوس انحناء الشمس تحت الأفق، الذي تتعلق به ضيائية السماء في نقطة الأفق  $H$ ، بعد غروب الشمس. أما القوس الثالث  $\alpha_3$  فهو المسافة من  $D$  إلى نقطة الأفق  $H$  الأكثر إشراقاً، وتتعلق به ضيائية السماء في النقطة التي يغيب فيها القمر. يمكن أن يوجد هذا المثلث في إحدى الحالتين الحديتين التاليتين:



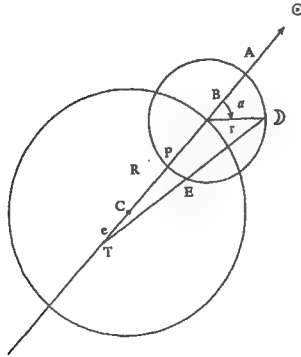
ينغيب القمر، في الحالة الأولى، على الخط العمودي للشمس، في نقطة الأفق الأكثر إشراقاً (انظر الشكل رقم (٢ - ٩)). فيكون القوس  $\alpha_3$  مساوياً للصفر، وتكون رؤية الهلال، إذا كانت قيمة كل من  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  مساوية، على الأقل، للقيمة الحدية المشتركة  $\alpha_0$  لهذين القوسين. إن  $\alpha_0$  هي القيمة المطلقة لـ «قوس قابلية رؤية الهلال»، ويجب تحديدها تبعاً للمسافة بين الأرض والقمر. لقد أكد إين فرة، دون إثبات، أن هذه القيمة الدنيا تساوي، بالدرجات، 10;52، فيكون الهلال غير قابل للرؤية، إذا صحت التراجحة:  $\alpha_0 > 10;52$ . ينغيب القمر والشمس معاً في الوقت نفسه، في الحالة الثانية، ويكون الهلال على حد قابلية الرؤية. فيجب عندئذ أن تكون المسافة الزاوية بين الشمس والقمر مناسبة لتمكن من رؤية الهلال في النهار. وهكذا (انظر الشكل رقم (٢ - ١٠)) نحصل على:

$$\alpha_1 = \alpha_3 = A \quad \text{و} \quad \alpha_2 = 0$$

والزاوية  $A$  هي الحد الأدنى الذي يجب اجتيازه لكي يكون الهلال مرئياً في كل الظروف الممكنة. لقد أكد ابن قرة أن الهلال يصبح مرئياً في النهار إذا تحققت المتراجحة  $25^\circ < A$ ، مهما كانت قيم المتغيرات الأخرى. ويظهر أن هذا الحد الأدنى للمساوي لـ  $25^\circ$  قد استنتج من الرصد. فقد بيّنت أرساد حديثة أن القمر يكون على حد قابلية الرؤية في وسط النهار، إذا كانت مسافته الزاوية إلى الشمس قريبة من  $25^\circ$ .

أما المتغير الرابع فهو متعلق بالمسافة، بين الأرض والقمر، التي تتعلق بها زاوية رؤية القمر، وبالتالي ضيائية القمر لنفس الجزء من الهلال المضاء. إن موضع مركز فلك تدوير القمر يمكن أن يندمج مع أوج فلكه الخارج المركز في أول لحظة لقابلية رؤية الهلال. إن خاصية القمر  $a$  هي المتغير الوحيد الذي يدخل في تحديد المسافة بين الأرض والقمر.

يبلغ القمر بعده الأقصى عن الأرض عندما تكون  $a$  مساوية للصفر، ويبلغ بعده الأدنى عندما تكون  $a$  مساوية لـ  $180^\circ$ . وعندما تكبر خاصية القمر من  $0^\circ$  إلى  $180^\circ$ ، تصغر المسافة بين الأرض والقمر من  $R+e+r$  إلى  $R+e-r$  حيث يكون  $R$  شعاع الفلك الخارج المركز، ويكون  $e$  مقدار خروج هذا الفلك عن المركز، ويكون  $r$  شعاع فلك التدوير.



الشكل رقم (٢ - ١١)

## (١) المرحلة الأولى: العلاقة بين $\alpha_1$ و $\alpha_2$

يدور القسم الأساسي من المناقشة حول القوسين  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  في الشكل رقم (٢ - ٨)، أي حول المتغيرين الأكثر أهمية. إذا تزايد  $\alpha_1$  يصبح الهلال أكثر ضياءً، وإذا تناقص  $\alpha_2$  تصبح ضيائية السماء أقوى على الأفق. ويجب إيجاد توازن بين تغير  $\alpha_1$  وتغير  $\alpha_2$  وتعديل هذا التوازن تبعاً للمتغيرين الآخرين. لكن  $V(\alpha_1, \alpha_2)$  العلاقة بين القوسين  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  عندما يكون الهلال على حد قابلية الرؤية. يبحث ابن قرة عن العلاقة الواجبة بين مقدار «التزايد»  $\Delta\alpha_1$  ومقدار التناقص  $\Delta\alpha_2$ ، بحيث نستطيع كتابة المطابقة التالية:

$$V(\alpha_1, \alpha_2) \Leftrightarrow V(\alpha_1 + \Delta\alpha_1, \alpha_2 - \Delta\alpha_2)$$

يعني الطرف الأيمن من هذه العبارة أن الهلال هو من جديد على حد قابلية الرؤية بالنسبة إلى القوسين المقصودين. يؤكد ابن قرة عندئذ أن نسبة  $\Delta\alpha_1$  إلى  $\Delta\alpha_2$  ثابتة:  $k = \Delta\alpha_1 / \Delta\alpha_2 = (A - \alpha_0) / \alpha_0$ ، حيث تكون  $A$  و  $\alpha_0$  كما حددنا سابقاً. ونحن نجد ثانية هذه الثابتة إذا نقلنا الهلال من حالة حدية إلى حالة حدية أخرى (انظر الشكلين رقم (٢ - ٩) ورقم (٢ - ١٠))، أي من  $(\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_0)$  إلى  $(\alpha_1 = A)$  و  $(\alpha_2 = 0)$ . فيمكننا أن نستنتج من العبارة السابقة:  $V(\alpha_0, \alpha_0) \Leftrightarrow V(A, 0)$ ، مع  $\Delta\alpha_1 = A - \alpha_0$  و  $\Delta\alpha_2 = \alpha_0$ ، وهذا ما يعطينا النسبة الثابتة المقترحة  $k$  بين  $\Delta\alpha_1$  و  $\Delta\alpha_2$ ، فنحصل على  $A = (k + 1)\alpha_0$ . يؤكد ثابت ابن قرة أن النسبة  $k$  معروفة، وتؤكد معطيات النص الممددة أن  $k = 1; 11,46$ . ربما يكون المؤلف قد حصل على هذا العدد من دراسة أجراها على القيم التي أعطاها بطليموس في كتاب الاختصاص، لـ «قوس قابلية الرؤية» للكواكب المختلفة<sup>(٤١)</sup>.

## (٢) المرحلة الثانية: دور $\alpha_3$

إن  $\alpha_0$  هي القيمة المطلقة لـ «قوس قابلية رؤية» الهلال، لأن القمر، في الحالة الحدية الظاهرة في الشكل رقم (٢ - ٩)، يأفل على خط الشمس العمودي فتكون  $\alpha_3$  مساوية للصفر. وعندما يتبعد القمر عن النقطة  $H$  التي هي «النقطة الأكثر إشرافاً على الأفق»، يكون القوس الجديد لقابلية الرؤية أصغر من  $\alpha_0$  بقليل، لأن ضيائية الأفق في هذا المكان أضعف قليلاً من ضيائته في النقطة  $H$ . يطبق ابن قرة عندئذ الصيغة التي أعدها بطليموس، في كتبه في ظهور الكواكب الثابتة، لقابلية رؤية النجوم الثابتة<sup>(٤٢)</sup>، فيعطي أول صيغة لتحديد قوس قابلية الرؤية:

$$\alpha'_0 = \alpha_0(360 - \alpha_3)/360.$$

(٤١) لتوضيح هذه الفرضية، انظر: المصدر نفسه، من ص ٢٢٢ إلى ص ٢٢٧.

(٤٢) انظر: Régis Morelon, «Fragment arabe du premier livre du *Phaenô de Ptolémée*»,

*Journal for the History of Arabic Science*, vol. 5, nos. 1 - 2 (1981), pp. 3 - 14.

### (٣) المرحلة الثالثة: دور المسافة بين الأرض والقمر (تبعاً لـ $a$ )

رأينا سابقاً أن ابن قرة وضع  $10; 52 = \alpha$  كحد أدنى لمطلق لقوس قابلية الرؤية، ووضح  $A = 25$  كحد أقصى لهذا القوس بحيث إذا زاد القوس عن هذا الحد الأقصى أصبح القمر مرئياً في النهار مهما كانت الشروط الأخرى. وهكذا أكد ثابت بن قرة أن العلاقة  $10; 52 = \alpha$  تحقق أحسن الشروط لقابلية الرؤية، إذ يكون القمر في أقرب مسافة من الأرض ( $180 = a$  على الشكل رقم (٢ - ١١))، وأن العلاقة  $A = 25$  تحقق أسوأ الشروط لقابلية الرؤية، إذ يكون القمر في أبعد مسافة عن الأرض ( $a = 0$ ). وعندما تتغير مسافة القمر إلى الأرض، تتغير زاوية رؤيته، فيتوجب حساب  $\alpha$  و  $A$  تبعاً لذلك. لقد قام ابن قرة بحل هذه المسألة قياساً على ما عرض في كتاب الاقتصاد حول قابلية رؤية هلال كوكب الزهرة. يحدد بطليموس في هذا الكتاب قوس قابلية رؤية الزهرة بخمس درجات عندما يكون هذا الكوكب على مسافته الدنيا من الأرض (166 شعاعاً أرضياً حسب الأرقام المقررة في ذلك العصر) ويصبح درجات عندما يكون هذا الكوكب على مسافته القصوى (1079 شعاعاً أرضياً). أما الأرقام الخاصة بالقمر والواردة في نفس الكتاب، فهي تحقق العلاقاتين:  $53 = R + \alpha - r$  و  $64 = R + \alpha + r$ . يؤكد ابن قرة عندئذٍ، دون أن يُثبت حساباً بوضوح، أن الفروقات في قوس قابلية رؤية هلال القمر هي  $31; 0; 8; 1$  لـ  $A$ . فيستنتج من ذلك أن:  $23; 11; 23 \leq \alpha \leq 10; 52$  و  $25 \leq A \leq 23; 52$  عندما يكون  $0 \leq a \leq 180$ .

توجد طريقة حسابية وحيدة للحصول ثانية على قيم تقريبية جيدة لهذه الأرقام، وذلك باعتبار المسافات حدوداً لمتتالية عددية وباعتبار أقواس قابلية الرؤية حدوداً لمتتالية هندسية. والنتيجة هي كالتالي: فيما يخص كوكب الزهرة، إن معامل المتتالية العددية يساوي 1، ويكون قوساً الرؤية، بالطبع، في المرتبتين 5 و 7، أما معامل المتتالية الهندسية فهو  $2; 712$ ، ويكون العدد 147 في المرتبة 5، والعدد 1079 في المرتبة 7. فيما يخص القمر، يساوي معامل المتتالية العددية  $0; 31$ ، فنجد  $10; 51$  في المرتبة 21 و  $11; 22$  في المرتبة 22. ويساوي معامل المتتالية الهندسية  $64/53$ ، فنجد 53 في المرتبة 21، و 64 في المرتبة 22. إن الأرقام التي حصلنا عليها هنا قريبة بشكل جيد من أرقام ابن قرة، مما يجعلنا نستنتج أنه قد استخدم نفس الطريقة الحسابية لاستخراجها. إذا كانت النسبة  $k$  معروفة، كما يؤكد ابن قرة، فإن معرفة  $A = 25$ ، بواسطة الرصد، تكفي وحدها لإيجاد القيمتين الحديتين لكل من  $\alpha$  و  $A$ .

هذه المطابقة بين حدود المتتاليتين لا تعطي إلا قيم  $\alpha$  و  $A$  القصوى الموافقة لـ  $a = 0$  و  $a = 180$ . وقد استخدم ابن قرة، لحساب القيم الأخرى، صيغة استكمال بسيطة جداً

اقتبسها عن بطليموس الذي وضع جدولاً<sup>(٢٦)</sup> للدالة  $I(a)$  التي تحقق العلاقة  $0 \leq I(a) \leq 1$ ، عندما يكون  $0 \leq a \leq 180$ . وهكذا يضع ثابت بين قرة:

$$A = 25 - 1; 8 \cdot I(a) \quad \text{و} \quad \alpha_0 = 11; 23 - 0; 31 \cdot I(a)$$

تتطرق المناقشة أخيراً إلى القوس  $\alpha_2$  (قوس انحطاط الشمس تحت الأفق)، لمقارنته بـ «قوس قابلية الرؤية» المحسوب تدريجياً بإعطاء قيم ثابتة لبعض المتغيرات:

(أ) يضع ابن قرة  $\alpha_3 = 0$  و  $\alpha_1 = 10; 52$  (الحد الأدنى المطلق)، ويعسب، تبعاً لـ  $\alpha$ ، قيمة  $\alpha_0$ :  $I(a) = 11; 23 - 0; 31$ . ثم يستنتج أن هلال القمر يكون مرئياً إذا كان  $\alpha_2 \geq \alpha_0$ .

(ب) يأخذ ابن قرة قيمة  $\alpha_0$  الحقيقية ويحتفظ بـ  $\alpha_1 = 10; 52$ ، ثم يحسب النقص الحاصل لقوس قابلية الرؤية،  $\alpha'_0 = \alpha_0 - \Delta \alpha_0$ ، بواسطة صيغة بطليموس التالية الواردة في كتاب في ظهور الكواكب الثابتة:  $\alpha'_0 = \alpha_0 (360 - \alpha_3) / 360$ ، فيستنتج أن الهلال يكون غير مرئي إذا كان معنا  $\alpha'_0 \geq \alpha_2$ .

(ج) يأخذ ابن قرة القيم الحقيقية لكل المتغيرات، ويعسب  $\alpha'_0 = \alpha_0 - \Delta \alpha'_0$  أي النقص الحاصل الذي يتعلق بـ  $\alpha_1$  وهي المسافة الزاوية بين الشمس والقمر التي تغطي العرض الحقيقي للهلال المرئي. ونجيب إضافة عامل آخر يؤثر على تزايد القوس  $\alpha_1$  انطلاقاً من حده الأدنى المطلق  $10; 52$ ، ويدخل  $A'$  قيمة  $A$  المعدلة، كما جرى لـ  $\alpha_0$ ، بواسطة الصيغة المقتبسة من كتاب في ظهور الكواكب الثابتة. وهكذا تصبح العبارة النهائية على الشكل التالي:

$$\alpha_0'' = [11; 23 - 0; 31 \cdot I(a)] [(360 - \alpha_3) / 360] [(A' - \alpha_1) / (A' - 10; 52)]$$

ويستنتج ابن قرة أن الهلال يصبح مرئياً إذا كان  $\alpha_2 \geq \alpha_0''$ .

وهكذا تستند نظرية قابلية الرؤية إلى ستة عناصر: الرصد الذي يعطي  $A = 25$ ، النسبة الثابتة  $k$ ، بين «تزايد»  $\alpha_1$  و«تناقص»  $\alpha_2$ ، المطابقة بين حدود متتاليتين إحداهما عددية والأخرى هندسية، وضعية المتغيرات الثلاثة الرئيسة بالنسبة إلى قيمها الحدية،  $\alpha_0 \leq \alpha \leq A$  و  $0 \leq \alpha_3 \leq A$  و  $0 \leq \alpha_0 \leq A$ ؛ صيغة استكمال بسيطة مقتبسة عن بطليموس، وصيغة مستخرجة من كتاب في ظهور الكواكب الثابتة، لتعديل النتيجة تبعاً لوضع القمر على الأفق.

لقد استخدم ابن قرة، في كل هذه الدراسة، التشابه بين حالة الهلال وحالة الكواكب الثابتة فطبق صيغة من كتاب في ظهور الكواكب الثابتة. واستخدم كذلك التشابه بين حالة

(٢٦) انظر: Ptolemaeus, *L'Almageste*, traduction française par N. Halma, tome 1, p. 430.

الهلال وحالة الكواكب، فاقنيس مثال كوكب الزهرة. وهذا يعني، بالنسبة إليه، أن لا وجود سوى لمسألة واحدة لقابلية رؤية أي جرم سماوي مضيء على الأفق بعد غروب الشمس أو قبل شروقها: الهلال القمري، الكواكب الثابتة، والكواكب تخضع كلها لتلك الظاهرة الغريبة التي حاول ابن قرّة تحليلها تحليلًا رياضيًا، باحثًا عن علاقة بين الأبعاد التابعة لفضائية الجرم المقصود بالدرس، ولأفق في لحظة معينة. وهكذا يظهر أنه قد بحث عن قانون عام، حاول تطبيقه عندئذٍ على حالة الهلال.

وهكذا سعى ابن قرّة إلى معالجة مسائل علم الفلك بطريقة رياضية دقيقة. لقد تعرض لهذه المسائل في كل شموليتها، ودرس بطريقة هندسية بحثة الهيئات التي اقترحها بطليموس، دون أن يشكك في صحة تلك الهيئات. لقد اعترف بأن الدقة الجيدة للنتائج المستخرجة عن طريق الاستدلال البحث، لا يمكن تأمينها دائماً في النتائج الرصدية، وذلك لأنّ ما يدرك بالحواس لا يمكن أن يصل إلى مثل تلك الدقة<sup>(٤٤)</sup>. إن التثبت من النتائج النظرية بواسطة الرصد يبقى دائماً ضرورياً، لذلك يكرس ابن قرّة خاتمة كتابه النظري البحث عن قابلية رؤية الهلال، للتحديث عن هذه الفكرة، وعن شروط الرصد وعن العوامل الشخصية المتعلقة بمزايا الراصد.

## ٤ - البتاني

لقد ظهر في المتعطف بين القرنين التاسع والعاشر للميلاد، عالم فلك ذو شهرة عظيمة، هو البتاني الذي ولد في أواسط القرن التاسع وتوفي في سنة ٣١٧ هـ / ٩٢٩ م. أصله من حران كُتبت بن قرّة. وقد أمضى أكبر قسم من حياته في الرقة، على ضفاف الفرات في شمال سوريا الحالية، حيث أجرى أرصاداً عديدة ذات جودة عالية، طيلة أكثر من ثلاثين سنة في مرصده الشخصي. وقد حرر خلاصة أعماله في مؤلف ضخّم هو **الزيج الصابي**<sup>(٤٥)</sup>. كان لهذا المؤلف تأثير كبير على علم الفلك في الغرب اللاتيني خلال القرون الوسطى وفي بداية النهضة الغربية. وسبب ذلك أن كتابه كان، من ذلك العصر، المؤلف الكامل الوحيد في علم الفلك العربي الذي تُرجم بكامله إلى اللاتينية في القرن الثاني عشر (ثم مباشرة إلى الإسبانية في القرن الثالث عشر للميلاد). وقد ذكر في ذلك

(٤٤) انظر:

Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie*, p. 108, ligne 6.

(٤٥) الاسم الكامل لهذا المؤلف هو: أبو عبد الله محمد بن جرير بن سنان البتاني الصابي الحراني. انظر: Albategnius, *Al-Battānī, sive Albategni Opus Astronomicum (al-Zīj al-Ṣābiʿ)*, édition du texte arabe, traduction latine et commentaire par Carolo Alphonsus Nallino, Pubblicazioni del Reale osservatorio di Brera in Milano, I-III, 3 vols. (Milano: Mediolani Insuebrum, Prostat apud U. Hoeplum, 1899 - 1907), réimprimé en 1 vol. (Hildesheim; New York: G. Olms, 1977).



الزمن باسم «البتاني» (Albatagni) أو «ألباتينوس» (Albatennus). وكان كتابه المؤلف الوحيد الكبير الأهمية في علم الفلك الشرقي ذي التقليد العربي، الذي عُرف وفُرس حتى عهد قريب نسبياً. لهذا السبب كان البتاني عظيم الشهرة، وكان يعتبر «أكبر عالم في الفلك العربي» من قبل المؤلفين المتتالين لمعظم اللوحات في تاريخ علم الفلك.

لقد كان البتاني بالفعل من أكبر الرُصّاد، ولكن ليس لعمله في علم الفلك النظري أهمية كبرى. فقد تبع، بشكل كامل تقريباً، من سبقه مباشرة من العلماء العرب. ولم يستشهد بهؤلاء أبداً بشكل واضح، بل استند غالباً إلى بطليموس. أعاد البتاني حساب بعض الوسائط، وقرّن نتائج أرصاده الخاصة ببعض نظريات سابقه دون أن يتقد تلك النظريات أو يزيد عليها بشكل يستحق الذكر.

وهكذا يكمن إسهام البتاني الأساسي في ميدان الرصد الخالص. لقد قاس، بدقة فائقة، ميل فلك البروج (23;35). ووجد أن أوج الشمس على فلك البروج يقع على بعد 22;50,22 من برج الجوزاء. وهذه القيمة هي، في عصر البتاني، أقرب بكثير إلى القيمة الحقيقية من تلك التي وردت في كتاب في سنة الشمس قاته. ولذلك أكد حركية أوج الشمس. وقد حسب طول السنة المدارية فوجده مساوياً لـ 365;14,26، وهذه القيمة أقل صحة، بالنقصان، من تلك التي وردت في نفس كتاب في سنة الشمس. تبنى البتاني قيمة ثابتة مبادرة الاعتدالين التي وردت في الزيج للمتحن، وهي المساوية لدرجة واحدة كل ٦٦ سنة؛ وذلك بعد أن دقق في صحتها دون أن يذكر المصدر الذي استند عليه. وهذا ما سمح له بإعادة حساب أرقام جدول الكواكب الثابتة الوارد في المجسطي، فخفض عددها إلى أقل من النصف (٤٨٩ بدلاً من ١٠٢٢).

إن رصده الأكثر شهرة هو، بحق، رصد تغير زاوية الرؤية لكل من الشمس والقمر. وهذا ما جعله، يستنتج، لأول مرة في تاريخ علم الفلك، أن كسوفات الشمس الحقيقية ممكنة، لأن زاوية رؤية القمر، في حدها الأدنى، يمكن أن تكون أصغر بقليل من زاوية رؤية الشمس. لقد أكد، في الواقع، أن زاوية رؤية القمر، عند قرانه مع الشمس، تتغير من 0;29,30 إلى 0;35,20 (التغير الحقيقي هو من 0;29,20 إلى 0;33,30)؛ وأن زاوية رؤية الشمس تتغير من 0;31,20 إلى 0;33,40 (التغير الحقيقي هو من 0;31,28 إلى 0;32,32). أما بطليموس فقد اعتبر أن زاوية رؤية الشمس ثابتة ومساوية لـ 0;31,20 - دون أن يأخذ بعين الاعتبار، وهذا أمر غريب، تغير مسافة الشمس إلى الأرض في حركتها على الفلك الخارج المركز - وأن هذه القيمة هي أيضاً الحد الأدنى لزاوية رؤية القمر، مما يمنح إمكانية الحسوف الخلفي<sup>(٤٦)</sup>.

(٤٦) حول الأرصاد المختلفة، انظر: المصدر نفسه (الترجمة والشرح موجودان في الجزء الأول، والنص =

سنحاول، في الختام، أن نلخص بسرعة العمل الذي أنجز في علم الفلك، في عهد العباسيين خلال القرن التاسع للميلاد. نستطيع أن نقول إن بحوثاً مبتكرة قد أجريت في هذا الميدان منذ أن وضعت المراجع الأساسية لهذا العمل تحت تصرف العلماء. وكانت هذه المصادر هندية وفارسية وسريانية، وخاصة يونانية. وكان العمل في ترجمة المصادر السابقة إلى العربية، متزامناً منذ البداية وطيلة القرن التاسع، مع العمل في البحث العلمي الصرف سولة في علم الفلك أو في العلوم الدقيقة الأخرى<sup>(٤٧)</sup>.

بدأ العمل بشكل حقيقي في البحوث الفلكية عندما تم وضع برنامج شامل للأرصاء المتواصلة في عهد الخليفة المأمون قبيل سنة ٨٢٠م. وقد شجع المأمون كثيراً هذه البحوث الأساسية، كما فعل ذلك، من بعده، العديد من الخلفاء. وكان واضحاً، منذ ذلك العصر، أن علماء الفلك كانوا يشهدون على دقة الآلات وعلى ضرورة القيام بأرصاء متواصلة ومكررة - للشمس والقمر في دمشق وبغداد، في أول الأمر على الأقل، ولكل الكواكب بعد ذلك - بينما لم ترد في المصادر القديمة إلا نتائج لأرصاء منعزلة في المكان والزمان. وقد تم تطوير ومتابعة هذا البرنامج، طيلة الفترة التاريخية اللاحقة.

ويجب أن نشدد أيضاً على المظهر الجماعي لهذا العمل حتى خارج إطار الأرصاء الصرفة، إذ إننا نجد آثاراً كثيرة لمراسلات علمية، بين علماء فلكيين، مذكورة في مؤلفات فهرسية عربية قديمة تخص ذلك العصر، فضلاً عن وجود مؤسسات عامة ممولة من السلطة المركزية مثل مرصد بغداد ومرصد دمشق. وهكذا نستطيع الكلام عن تكوين «مدرسة بغدادية» حقيقية في علم الفلك في القرن التاسع للميلاد.

كان التفاعل مستمراً بين النظرية والرصد عند الفلكيين العرب، وذلك بشكل منظم فاق بكثير ما جرى في علم الفلك الهلنستي. وهذا ما سمح باكراً بنقد، حاد في بعض الأحيان، لبعض نظريات ونتائج بطليموس. لكن ذلك جرى فقط من داخل النظام والهيئات الهندسية المقترحة من قبل بطليموس.

« العربي في الجزء الثالث، والجدول في الجزء الثاني): ميل فلك البروج: الترجمة ص ١٢، الشرح ص ١٥٧ - ١٦٢، النص العربي ص ١٨ الخط ١٤؛ أوج فلك الشمس: الترجمة ص ٧٢، النص العربي ص ١٠٧ الخط ٢٣ إلى ص ١٠٨ الخط ١٧ السنة للدورية: الترجمة ص ٤٢، الشرح ص ٢١٠ - ٢١١، النص العربي ص ١٠٣ الخط ٢٢ إلى ص ٦٤ الخط ١٦ مبادرة الإعتداليين: الترجمة ص ١٢٨، النص العربي ص ١٩٢ الخطوط ١ - ٥ جدول النجوم الثابتة: الترجمة ص ١٤٤ - ١٨٦، النص العربي ص ٢٤٥ - ٢٧٩ ذوايا رؤية الشمس والقمر: الترجمة ص ٥٨، الشرح ص ٢٣٦ - ٢٣٧، النص العربي ص ٨٨ الخطوط ٣ - ١٥.

(٤٧) حول هذه المسألة، انظر: Roshdi Rashed, «Problems of the Transmission of Greek Scientific Thought into Arabic: Examples from Mathematics and Optics», *History of Science*, vol. 27 (1989), pp. 199 - 209.

لقد أحرز تقدم خلال القرن التاسع، في علم المثلثات الكروية المعتبر آنذاك كـ «علم مساعدة» فقط لعلم الفلك. وهذا ما أجاز القيام باستدلالات هندسية على أقواس الكرة السماوية، بشكل أكثر دقة وإعداداً، بفضل الاستخدام المنهجي للجيوب ولجيب التمام، وبفضل إدخال الظلال وظلال التمام<sup>(٤٨)</sup>. وأخيراً، لقد بدأ ابن قرة بحوثاً من أجل تطبيق في علم الفلك للنتائج التي حصل عليها الرياضيون، الذين غالباً ما كانوا فلكيين في نفس الوقت. وقد تابع أغلب الفلكيين الكبار اللاحقين هذه البحوث، فكان من نتيجة ذلك أن تأكدت الصفة العلمية تدريجياً للدراسات الفلكية.

هكذا وجدت التطورات اللاحقة في علم الفلك العربي بذورها في هذا القرن التاسع، وخاصة في بغداد حيث تم عملياً إعداد برنامج العمل وطرقه التي اتبعت بعد ذلك، دون تغيير يذكر على الأقل في مبادئها الأساسية، خلال عدة قرون.

### ثالثاً: علم الفلك في القرنين العاشر والحادي عشر حتى البيروني

رأينا في المقدمة كيف حدثت، بين القرنين العاشر والحادي عشر للميلاد، تطورات حاسمة في مجال تصميم وتنظيم المراصد الثابتة ذات الحجم الكبير، في بغداد وإيران. وسيظهر الفصل الخامس عشر الخاص بالمثلثات أهمية النتائج المكتسبة خلال القرن العاشر في تطور هذا العلم الذي ترتبط به جزئياً دقة الحسابات الفلكية.

ولم يُنقل بشكل كامل غير جزئي إلا القليل من نصوص علم الفلك النظري لتلك الحقبة. ومن المفارقة أن يكون وصف تطور علم الفلك الشرقي العربي في القرن العاشر، أصعب من وصفه في القرن التاسع للميلاد. لذلك سوف نأخذ ببساطة ثلاثة أمثلة عن علماء تلك الحقبة، الذين عملوا، على ما يظهر، بشكل أكثر انعزالاً من علماء القرن الأسبق. بعد ذلك سنتوقف عند مجموعة أولئك العلماء الذين تتألموا من أستاذ إلى تلميذ حتى البيروني. عاش البيروني في قسم من القرن العاشر وفي قسم من القرن الحادي عشر، وبه تختتم هذه الفترة الأولى من علم الفلك الشرقي.

#### ١ - أبو جعفر الخازن، عبد الرحمن الصوفي وابن يونس

كان أبو جعفر الخازن رياضياً لامعاً، أصله من خراسان. قضى جزءاً من حياته في رعي وتوفي بين سنتي ٣٥٠ و٣٦٠هـ / ٩٦١ و٩٧١م. ألف عدة كتب في علم الفلك

---

(٤٨) انظر الفصل الخامس عشر من الجزء الثاني من هذه الموسوعة وهو بعنوان «علم المثلثات: من الهندسة إلى علم المثلثات».

النظري، لم يبق لنا منها في هذا الميدان إلا بعض مقتطفات، من كتابه شرح المجسطي، تدور خاصة حول حساب الثلاث. إن إشارات بعض المؤلفين الذين جاؤوا من بعده، وخاصة البيروني، إلى أعماله تدل على أهمية هذه الأعمال بالنسبة إلى خلفائه. درس الخازن حركة الشمس، ويعكس البتاني، سلم بنتيجة رصد بطليموس حول القيمة الثابتة لزاوية رؤية الشمس، وهذا ما اقتضى منه أن تكون مسافة الأرض إلى الشمس ثابتة. فاقترح هيئة جديدة لحركة الشمس، ليس على فلك خارج المركز، بل على دائرة مركزها الأرض، بحيث تكون الحركة مستوية حول نقطة خارجة عن مركز العالم، وذلك بشكل مشابه لحركة فلك التدوير حول «نقطة معدل المسير» في هيئة بطليموس للكواكب العليا<sup>(٤٩)</sup>. وهذه هي حالياً النقطة الوحيدة التي تظهر لنا أنه قد قام بتقويم تقدي لهيئات بطليموس.

ألف الخازن كتاباً آخر هو كتاب في سر العالمين وهو مفقود حالياً بأكمله. وقد اقترح فيه نظرية كلية جديدة للكون استناداً إلى نتائج بطليموس في كتاب الاقتصاد<sup>(٥٠)</sup>. وقد كان لهذا المؤلف، بعد قرن من ظهوره، تأثير أكيد بشكل لا يمكن تحديده بدقة حتى الآن، على القسم، من أعمال ابن الهيثم، المكرس لعلم وصف الكون، والمرتبط بنقده لنظام بطليموس، والمستند بالفعل، في أغلب الأحيان، على حجج من نوع وصفي للكون<sup>(٥١)</sup>.

ولد عبد الرحمن الصوفي (٢٩١ - ٣٧٦هـ / ٩٠٣ - ٩٨٦م) في مدينة ربي وعمل في شيراز وأصفهان. وقد ذكر العديد من أرواده حول ميل فلك البروج وحركة الشمس وطول السنة الشمسية. ولكنه اشتهر على الأخص بمؤلفه كتاب صور الكواكب الثابتة<sup>(٥٢)</sup> للمحرر حوالي عام ٩٦٥م، وهو مقتبس من جدول الكواكب الثابتة الوارد في المجسطي. حدد الصوفي موقفه، في مقدمة هذا الكتاب، من صانعي الكرات السماوية ومن علماء الفلك العرب التابعين للجيل السابق، الذين درسوا الكواكب الثابتة، منتقداً الطريقة التي

(٤٩) انظر: أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني، القانون للمصوفي، صبح عن النسخ القديمة المرجوعة في المكاتيب الشهيرة، تحت إمارة وزارة معارف الحكومة المالية الهندية، ٣ ج (حيدر آباد الدكن: مطبعة مجلس دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٤ - ١٩٥٦)، ص ٦٣٠ - ٦٣٢ و ١٣١٢، حيث ذكر أيضاً كتاب حول أحجام ومسافات الكواكب للكاتب نفسه.

(٥٠) إشار الخرقني الثابتي، وهو مؤلف في القرن الثاني عشر، إلى الخازن، وفي الوقت نفسه، إلى أعمال لابن الهيثم مشابهة لأعمال الخازن. وذلك في مقدمة كتاب له في علم الهيئة هو: متص الإحراك في تقاسيم الألفاك. المخطوطة موجودة في المكتبة الوطنية في باريس، فرنسا، تحت الرقم 2499. Ar.

(٥١) انظر: عبد الرحمن بن عمر المصوفي، كتاب صور الكواكب الثابتة والأربعين (حيدر آباد الدكن: جمعية دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٣)، أعيد طبعه في (بيروت: دار الألفاك الجديدة، ١٩٨١)، الترجمة الفرنسية لـ: H. C. F. C. Schjellerup, *Description des étoiles fixes; composées au milieu du dixième siècle de notre ère, par l'astronomie persan 'Abd al-Rahmān al-Ṣūfī* (St. Pétersbourg: Commissionnaires de l'Académie impériale des sciences, 1874), réimprimé (Frankfurt: [s. n.], 1986).

درست بها بعض مجموعات النجوم. وتبنى قيمة ثابتة مبادرة الاعتدالين التي حُصبت في عهد المأمون، من قبل مؤلفي الزيج الممتحن، وهي المساوية لدرجة واحدة لكل ٦٦ سنة، بدلاً من درجة واحدة لكل قرن كما قرر بطليموس. ولم يَقم الصوفي بتعديل بسيط لجدول المجسطي فقط، أي بتغيير قوس طول كل كوكب وفقاً لتصحيح حركة مبادرة الاعتدالين بين القرن الثاني والقرن العاشر للميلاد. بل قام بمراجعات كثيرة، بواسطة الرصد، لمراتب عظم الكواكب ولأقواس أطوالها على فلك البروج - وقال بنفسه أنه احتفظ بقيم أقواس عروض الكواكب التي سجلها بطليموس - وأدخل فكرة الإشارة إلى الألوان الظاهرية للكواكب الرئيسية. انتشر هذا الكتاب بشكل واسع باللغة العربية، ثم تُرجم ونُقل إلى اللاتينية ابتداءً من القرن الثاني عشر للميلاد - ودُوّن اسم مؤلفه على شكل «أزوفى» (Azophi) - فكان من نتيجة ذلك أن أعطيت أسماء من أصل عربي للكثير من النجوم في الغرب.

وصفت المجموعات النجمية الثماني والأربعون، في هذا الكتاب، حسب نفس المخطط: يتم في أول الأمر تقديم المجموعة المعينة مع ذكر جميع نجومها ومختلف الأسماء العربية التي أمكنت نسبتها إلى هذه النجوم. وبعد ذلك يُعطى جدول بإحداثيات النجوم على فلك البروج، وبأبعادها. تحتوي كل نسخة من نسخات الكتاب، في الأصل، على رسوم صغيرة تمثل الأشكال الأسطورية لمختلف مجموعات النجوم، مع مواقعها. كل مجموعة مرسومة مرتين بشكل متناظر: «كما ترى في السماء» و«كما ترى على الكرة» - أي على شكل من خشب أو من معدن يمثل الكرة السماوية - وهذا ما يسهل تحديد مواضع مجموعات النجوم حتى للمبتدئ. يخصص المؤلف كتابه لاستخدام مزدوج، نظري وعملي في آن واحد، كالتوجه على الأرض، وعلى البحر مثلاً، وهكذا ما ساهم في نجاح الكتاب. إن الرسوم المرفقة هنا تدل على جودة وتنوع تصاوير مجموعات النجوم الواردة في مخطوطات هذا الكتاب الشهير.



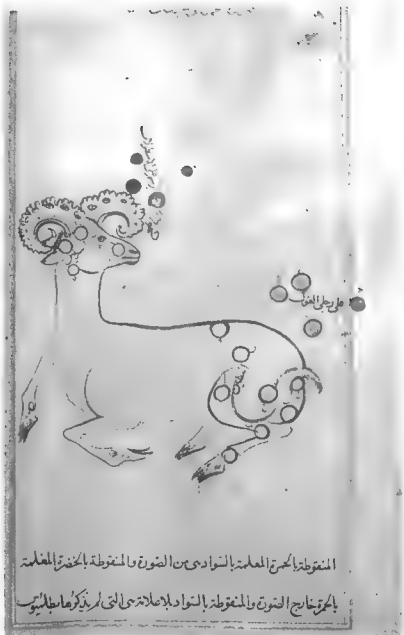
يرى عينها في الانعاما ياتر لها في السماء على حقيقتها لا تانظر اليها  
وسط الكثر من اسفل الى فوق صورنا لكل كوكبة سورين احدهما على اربع  
في الكرة والآخر على اربع في السماء تكون قد اعطنا الحامين المختلفين  
ملائكة الناس على من يتامل في انوارها في الكرة على ما في السماء  
منق اوردنا ان يرى الصورة على جهتها رضاء الدفتر فوق رؤسنا  
وصورة الى الصورة الثامنة من تحتها طائر اهل في السماء

#### الصورة رقم (٢ - ٤)

الصولي، كتاب صور الكواكب الثمانية

(طهران، مخطوطة مالك، ٦٠٣٧).

رسم الصولي بنفسه البروج في كتابه، وتبعه الناسخ في رسومات فنية،  
يعتبر كل منها في حد ذاته عملاً فنياً مميزاً. ومثل هذه الصورة رسم الدب الصغير.



#### الصورة رقم (٢ - ٥)

الصوفي، كتاب صور الكواكب الثابتة

(طهران، خطوطة مالك، ١٣٧٠هـ).

رسم الصوفي بنفسه البروج في كتابه، وتبعه الناسخ في رسومات فنية،  
يعتبر كل منها في حد ذاته عملاً فنياً مميزاً. وتمثل هذه الصورة رسم الحمل.



### الصورة رقم (٢ - ٦)

الصوفي، كتاب صور الكواكب الثابتة

(طهران، خطوطه مالك، ٦٠٣٧).

رسم الصوفي بنفسه البروج في كتابه، وتبعه الناسخ في رسومات فنية، يعتبر كل منها في حد ذاته عملاً فنياً مميزاً. وتمثل هذه الصورة رسم العلماء.



## ٢ - ابن يونس (المتوفى سنة ٣٩٩ هـ / ١٠٠٩ م)

عالم فلك كبير مصري. كان راصداً على الأخص. عمل في القاهرة في المرحلة الأولى من عهد الفاطميين. كان مرصده على جبل المقطم في شرق القاهرة، على الأرجح. أهم مؤلفاته هو الزيج الحاكمي الكبير، باسم السلطان الفاطمي الحاكم الذي تولى السلطة في القاهرة من سنة ٣٨٦ هـ / ٩٩٦ م إلى سنة ٤١١ هـ / ١٠٢١ م. وهو مؤلف ضخمة من واحد وثمانين فصلاً، لم يحفظ منه سوى ما يزيد قليلاً على النصف<sup>(٥٣)</sup>. أراد ابن يونس أن يؤلف كتاباً كاملاً في علم الفلك، محتوياً كل أكبر عدد ممكن من الأرصاد السابقة له، بعد إحصائها وتحليلها ونقدها وإغنائها بنتائج أرصاده الخاصة المتعددة. وهذا ما سمح بالاطلاع على كثير من وثائق القرنين التاسع والعاشر للميلاد العلمية التي لم تعرف إلا بفضل استشهاده بها في هذا الكتاب.

لا يوجد في هذا المؤلف إلا عدد قليل جداً من الاستدلالات النظرية. إنه زيج بالمعنى الحقيقي للكلمة، أي أنه مؤلف متمحور فقط حول تحضير جداول حركات الكواكب، مع حساب مختلف الوسائط وشرح طريقة استخدامها. إن دقة أرصاد ابن يونس، منذ أن وضعت نتائجها تحت تصرف العلماء بفضل الترجمة في بداية القرن التاسع عشر، قد استخدمت من قبل علماء معاصرين، على سبيل المثال من أجل معرفة أفضل للتسارع القرمي للقمر.

## ٣ - البيروني

ولد البيروني في خوارزم سنة ٣٦٢ هـ / ٩٧٣ م، وتوفي حوالي ٤٤٠ هـ / ١٠٤٨ م في غزنة (الموجودة حالياً في أفغانستان). كان تلميذاً لأبي نصر منصور بن عراق الذي كان بدوره تلميذاً لأبي الوفاء البوزجاني. كان البيروني يعترف بصراحة، ببلدين العالمين كأستاذين له. وقد عمل في رتي مع الخجندي. وهكذا سهل عليه، بفضل هؤلاء الثلاثة أن يكون رياضياً وفلكياً نظرياً وراصداً في آن واحد.

ولد أبو الوفاء البوزجاني الذي كان رياضياً وعالم فلك في بوزجان سنة ٣٢٨ هـ / ٩٤٠ م في إيران وتوفي في بغداد سنة ٣٨٨ هـ / ٩٩٨ م. وقد تبع تقليد «مدرسة بغداد» في البحوث الفلكية، هذه المدرسة التي كثر نشاطها، كما رأينا، في القرن السابق، لأنه عمل في هذه المدينة، بعد أن أتم تحصيله العلمي في إطار تلك المدرسة. قام أبو الوفاء بأعماله الفلكية

(٥٣) حول نشر وترجمة الفصول الأولى من الكتاب إلى الفرنسية، انظر: Ibn Yūnus, *Le Livre de la grande table hakémita*, partiellement éditée et traduite en français par Causain, édition séparée des «Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale» (Paris: Imprimerie de la République, an XII (1804)).

في المرصد الكبير الذي بني تحت رعاية شرف الدولة، في حدائق القصر الملكي في بغداد. وأطلق على مؤلفه الرئيس في علم الفلك اسم للجسطي. لم يحفظ من هذا الكتاب إلا جزء يدور على الأخص حول مسائل حساب المثلثات، ذلك العلم الذي طوره أبو الوفاء كثيراً<sup>(٥٤)</sup>. لذلك نحن لا نعرف إلا القليل عن التطويرات التي أدخلها أبو الوفاء في علم الفلك النظري والتي كرس لها كتابه، ولكن البيروني أشار مرات عديدة إلى دراساته حول حركة الشمس وحول قيمة ثابتة مبادرة الاعتدالين<sup>(٥٥)</sup>.

إن معلوماتنا عن «الأستاذ» المباشر للبيروني، أبي نصر منصور بن عراق، أقل من تلك التي نعرفها عن البوزجاني الذي كان أستاذه. نعرف أنه توفي سنة ٤٢٧هـ/١٠٣٦م في غزنة. وقد بقي لنا من أعماله، على الأخص، مؤلفات مهمة في علم المثلثات كتبها، جزئياً، بطلب من البيروني نفسه عندما كان يطرح الأسئلة حول نقاط معينة<sup>(٥٦)</sup>. أما الخجندي، المتوفى حوالي سنة ٣٩٠هـ/١٠٠٠م، فقد عمل كثيراً في مسألة آلات الرصد وألف فيها عدة كتب. وهو الذي كان المسؤول عن مشروع سدمية ري الكبيرة التي صمناها في المقدمة.

أما البيروني فهو عالم عظيم، ألف ما يقرب من مئة وخمسين كتاباً في كل العلوم المعروفة في عصره، منها خمسة وثلاثون في علم الفلك البحث. وقد نقلت من هذه الأخيرة ستة كتب فقط. وتتضمن كتبه الأخرى، عن الهند وعن تسلسل الأحداث مثلاً، إشارات عديدة إلى مسائل فلكية. أما مؤلفه الكبير الشامل، في هذا الميدان، فهو القانون السعدي الذي كتبه حوالي سنة ٤٢٦هـ/١٠٣٥م، والحاوي على أحد عشر جزءاً، في ١٤٨٢ صفحة حسب النشرة التي صدرت له<sup>(٥٧)</sup>.

(٥٤) المخطوطة ذات الرقم Ar. 2494، في المكتبة الوطنية في باريس، فرنسا، كثيرة النواقص، وقد درسها: Le Baron Carra de Vaux, «L'Almageste d'Abū-l-Wafā' Albūzjānī», *Journal asiatique*, 8<sup>ème</sup> série, tome 19 (mai - juin 1892), pp. 408 - 471.

وقد وضع مؤلف هذه الدراسة حداً لمجادلة آثارها سيدتي (L.A.M. Sédillot) حول اكتشاف أبي الوفاء لحركة تغير القمر، إذ بين أن النص لا يتعرض لهذه المسألة.

(٥٥) انظر: البيروني، للقانون السعدي، ص ٦٤٠ - ٦٧٧.

(٥٦) انظر: Julio Samso, *Estudios sobre Abū Naṣr Maṣ'ūd b. 'Alī b. 'Irāq* (Barcelona: [n. pb.], 1969).

(٥٧) انظر: D. J. Boillot, «L'Œuvre d'al - Bīrūnī: Essai bibliographique», *Mélanges de l'Institut dominicain d'études orientales du Caire*, vol. 2 (1955), pp. 161 - 256.



#### الصورة رقم (٢ - ٧)

أبو الريحان البيروني، القانون للمعوي

(القاهرة، خطوط المكتبة الوطنية، مقات ٨٦٦).

نرى في هذه الصورة عنوان كتاب البيروني الشهير في علم الهيئة، ويقسمه المؤلف إلى إحدى عشرة مقالة. ويخلص فيه كل أعمال سابقه ويقوم بتقديمها ثم يعيد تركيبها مضيفاً أرساداً جديدة قام بها، تتفق مع استدلالاته. وهذا من أهم ما كتب في علم الهيئة في القرن الخامس الهجري/الحادي عشر الميلادي.

كانت الفارسية لغة الأم، أما لغة عمله الرئيسية فكانت العربية، كما كان على معرفة تامة بالسنسكريتية، إذ أنه تعامل بها وقام بعدة ترجمات لنصوص علمية من السنسكريتية إلى العربية. وهكذا كان مطلعاً بشكل مباشر على جميع مصادر علم الفلك الهندي التي كان يستند إليها باستمرار. وكان كذلك يرجع إلى المصادر اليونانية أو إلى أعمال سابقيه باللغة العربية. ولم يكن هؤلاء مطلعين، كما يظهر، بعد نقل النصوص السنسكريتية في أواخر القرن الثامن للميلاد، إلا على بعض النصوص الفلكية الهندية، أو على بعض الوثائق غير الأصلية، بينما كانت النصوص اليونانية أكثر انتشاراً. وهكذا استطاع البيروني أن يتناول كامل الإرث الفلكي الموجود في عصره من العالم اليوناني والعالم الهندي والعالم العربي. لذلك سعى، في كل أعماله، إلى البحث بدقة عن خلاصة شاملة له. سوف نتعرض، فيما يلي، لبعض النقاط التي تخص طريقة عمله، دون أن نسعى لتقديم مجموعة أعماله الفلكية بسبب الصعوبة الخاصة لتلك المهمة.

أعطى البيروني في الجزء الأول من القانون المسعودي بعض المبادئ العامة التي تخص علم الفلك، وعرض أسس علم التواريخ لدى الثقافات المختلفة، بما فيها الثقافة الصينية. عالج في الفصل الثاني موقع السماوات بالنسبة إلى الأرض، فخلص إلى بحث افتراض دوران الأرض حول نفسها لتفسير الحركة اليومية<sup>(٥٨)</sup>. وقال إن أرياباتا وتلاميذه دافعوا، في الهند، عن هذه الفرضية، ولكنها متعارضة مع إحدى حجج بطليموس التي تقول بأن دوران الأرض حول نفسها يمنع الأجسام في سقوطها الحر من الوقوع عمودياً على الأرض. أكد البيروني أن «حلاً كبيراً» (لم يذكر اسمه) ادعى أن حجة بطليموس لا أساس لها من الصحة، لأن كل جسم أرضي يتحرك بحركة الدوران، على طول العمود الذي هو مساره خلال سقوطه. عرض البيروني هذه الحجة التي وجدها متماسكة، على ما يظهر. ثم عاد وراجع هذه المسألة فاهتم بالحركة الأفقية وحسب سرعة نقطة على الأرض في حال افتراض دوران الأرض حول نفسها، فاستنتج من ذلك أنه لا يمكن إلا أن تزداد هذه السرعة الكبيرة إلى الحركات الأخرى للأجسام الأرضية من الشرق إلى الغرب أو أن تنقص منها. وهذا ما لا يتحقق، فليس من الممكن إذن، بالنسبة إلى البيروني، أن تكون للأرض حركة دوران حول نفسها.

تبع البيروني، بشكل عام، الخطوة التالية في معالجة مسألة معينة من مسائل علم الفلك: يعرض أولاً بعض المبادئ العامة التي تخص المسألة المطروحة، ثم يبسط مختلف الحلول المقترحة من قبل العلماء الهنود وبتليموس وعلماء الفلك العرب، علاًماً وناقداً كل هذا استناداً على المبادئ العامة المعروضة في البداية. ثم يعرض، عند الاقتضاء، قائمة

(٥٨) انظر: البيروني، المصدر نفسه، ص ٤٢ - ٥٣. انظر أيضاً: Shlomo Pines, «La Théorie de la rotation de la terre à l'époque d'al-Bīrūnī», *Journal asiatique*, tome 244 (1956), pp. 301 - 306.

بأهم الأرصاد السابقة أو الأكثر تعبيراً عن الظاهرة التي هي قيد الدرس. ويصل أخيراً، بعد بيان أرباحه الخاصة، إلى اختيار أحد الحلول السابقة، أو إلى اقتراح حل شخصي معتمداً على كل ما سبق. لناخذ مثلاً مسألة قابلية رؤية الهلال كما هي مبينة في كتابه القانون السعودي<sup>(٥٩)</sup>.

حركة الشمس هي موضوع الجزء السادس من هذا الكتاب. أما حركة القمر فهي موضوع الجزء السابع منه. ويعالج الجزء الثامن الظواهر القابلة للرصد التي تخص العلاقة بين حركة الشمس وحركة القمر، أي مسألة كسوف أحد هذين «النيرين» ومسألة قابلية رؤية الهلال. الفصل الثالث عشر من الجزء الثامن مخصص لدراسة السحر والغسق. يفسر فيه البيروني هاتين الظاهرتين على أنهما نتيجة لاقتراب الأفق من حد غروب ظل الأرض الذي تحدثه الشمس. ويقول البيروني إن «علماء الفلك» - دون أن يذكر أسماء هؤلاء - حددوا بداية السحر صباحاً من جهة الشرق، أو نهاية الغسق في المساء غرباً، عندما يكون «قوس انحطاط الشمس تحت الأفق» مساوياً لـ 17 أو 18 درجة. ويعالج الفصل الرابع عشر قابلية رؤية الهلال، وهذا ما سنفصله فيما يلي:

للمقاييس العامة: إن قدرة البصر على رؤية الهلال تتعلق بعدة عوامل هي: أولاً: مسافة القمر إلى الشمس التي تحدد الجزء المضاء من سطح القمر، ثانياً: مسافة الأرض إلى القمر التي ترتبط بها الضيائية الظاهرة للجزء المضاء من القمر، ثالثاً: ضيائية الجو على الأفق المتعلقة بميل فلك البروج على الأفق، أي بمكان الشمس على فلك البروج وبعرض المكان في نفس الوقت، رابعاً: مسافة مكان أقول القمر على الأفق من نقطة الأفق الأكثر إشراقاً، أي من الحظ العمودي لمكان الشمس تحت الأفق<sup>(٦٠)</sup>.

ويستنتج البيروني عما سبق أنه يجب أخذ جميع هذه الوسائط بعين الاعتبار ويكل عناية.

الحلول السابقة له: لم يدوس بطليموس هذه المسألة لأن مشكلة رؤية هلال القمر لم تكن تثير الاهتمام في ميدانه الثقافي. اعتمد أربعة من علماء الفلك العرب السابقين للبيروني، وهم الفازاري، يعقوب بن طارق، الخوارزمي، والنيريزي، على طريقة هندية. فقد أخذوا الفترة الفاصلة بين وقت غروب الشمس ووقت أقول القمر كمعيار لرؤية الهلال. ولكن هذا المعيار غير صالح لأنه لا يسمح بأخذ ميل فلك البروج على الأفق بعين الاعتبار. غير أن النيريزي فاق الثلاثة الآخرين قليلاً لأنه، بخلافهم، أخذ بعين الاعتبار تصحيح اختلاف منظر القمر. أما البتاني فقد أدخل في معياره في آن واحد، بعد

---

(٥٩) انظر: البيروني، المصدر نفسه، ص ٩٥٠ - ٩٦٥.

(٦٠) انظر الشكل رقم (٢ - ٣) والاستدلال المركّز عليه، مع تخفيف الطرق التي شرحت فيه. لتلاحظ أن البيروني لم يكن على علم، وهذا بدعي، بطريقة ثابت بن قرة، للشرحة أعلاه، التي تتناول ثلثية، كل الوسائط المذكورة بشكل أكمل عما تسمح به طريقة حيش.

عدة تصحيحات، المسافة بين الشمس والقمر على خط الامتواء وعلى فلك البروج. ولكنه لم يحسب حساب ميل فلك البروج على الأفق بشكل كافٍ. وأخيراً اتخذ حبش الحاسب «قوس انحناء الشمس تحت الأفق» كمعيار رئيسي، وهذا الوسيط لا يمكن حسابه إلا بالاستناد على كل الوسائط الأخرى.

النتيجة: لا يعطي البيروني حلاً شخصياً، بل يتبنى طريقة حبش الحاسب. ثم يختم الفصل بشرح طريقة العشور على هلال القمر على الأفق بواسطة أنبوب الرصد الذي وصفناه في المقدمة.

لقد درست مسألة حركة الشمس عند البيروني من قبل W. Hartner (W. Hartner) وم. شرام (M. Schramm)<sup>(٦١)</sup>. نجد في هذه الدراسة كل مراحل الخطوة السابقة، مع ذكر عدد كبير من أرصاد الشمس وأرصاد البيروني الخاصة في نفس الوقت. ونجد كذلك دراسة رياضية للحركة الظاهرية على فلك خارج المركز، شبيهة بدراسة ثابت ابن قرة التي عرضناها سابقاً. وقد حلل البيروني نتائج المؤلفين الذين سبقوه وتقدها، ثم وضع بشكل نهائي حركة أوج الشمس، وأعاد حساب كل الوسائط وكتب جداول حركتها.

لم يحدث البيروني، بعمل من هذا النوع في علم الفلك، ثورةً على النظام الفلكي الكلي الذي تلقاه، لأنه بقي متمسكاً بنظام أفلاك التبدير والأفلاك الخارجة المراكز كما حددها بطليموس. ولكنه راجع كل شيء بالتفصيل، متابعاً، على سبيل المثال، حركة ترييض علم الفلك التي بدأها ابن قرة قبله<sup>(٦٢)</sup> بقرن ونصف من الزمان، ومظهراً بشكل إجمالي دقيق الحالة الفعلية لهذا العلم بكل فروعه في ذلك العصر. إن هذا العمل، إذا أمكن القياس، مشابه للعمل الذي أنجزه بطليموس قبل البيروني بثمانية قرون في المجسطي والذي هدف إلى إعداد دقيق لطريقة علمية، ولكن دون ابتكار كلي مهم، مستعيناً بكل أعمال من سبقه وبالأدوات الرياضية التي كانت تحت تصرف علماء الفلك في عصره.

هكذا أنجز البيروني بمهارة هذا العرض الشامل الذي ختم الفترة الأولى لعلم الفلك العربي. وقد بقي هذا العلم في تلك الفترة ضمن الإطار العام الذي وضعه بطليموس. بعد ذلك جاء ابن الهيثم الذي حاصر البيروني وبدأ بكسر هذا الإطار، وهذا لم يكن ممكناً لولا عمل البيروني الدقيق.

---

(٦١) انظر: W. Hartner and M. Schramm, «Al-Bīrūnī and the Theory of the Solar Apogee: An Example of Originality in Arabic Science» in: *Scientific Change* (London: Heinemann, 1963), pp. 206 - 218.

(٦٢) حول تعقيد طرق الاستكمال التي استخدمها البيروني في استعمال الجدول، انظر: Roshdi Rashed, «As-Samaw'ī, al-Bīrūnī et Brahmagupta: Les Méthodes d'interpolation», *Arabic Sciences and Philosophy*, vol. 1 (1991), pp. 101 - 160.

## نظريات حركات الكواكب في علم الفلك العربي بعد القرن الحادي عشر

جورج صليبا(\*)

لقد اتخذنا، في هذا الفصل، القرن الحادي عشر كنقطة انطلاق لدراستنا حول علم الفلك العربي، وذلك لعدة أسباب. السبب الأول هو أن علم الفلك العربي توصل في القرن الحادي عشر إلى أن «يتأقلم» بشكل نهائي في البيئة الإسلامية وأخذ يظهر بالأشكال التي تطلبها منه تلك البيئة. فقد ظهرت عدة أعمال انطوت على نتائج مبتكرة، لم تكن تكراراً للمسائل التي كانت تناقش في التراث الفلكي اليوناني. هذا الإنتاج الجديد في البحوث الفلكية كان يركز مباشرة على أعمال عدة فلكيين عاشوا في منعطف القرن السابق، كأبي سهل القوهي، وأبي الوفاء البوزجاني، والبيروني، ومنصور بن نصر بن عراق وغيرهم. ويمكننا، من ناحية أخرى أن نعتبر هذا الإنتاج استكمالاً لأعمال كل من حبش الحاسب، وثابت بن قرة والخوارزمي وغيرهم ممن سبقهم من علماء القرن التاسع للميلاد.

والسبب الثاني لاختيار القرن الحادي عشر كنقطة انطلاق هو إن هذا القرن شهد أيضاً ظهور مجموعة من الأعمال التي تجلّ فيها اهتمام حقيقي بالأسس الفلسفية لعلم الفلك اليوناني. وقد تكونت نتيجة لذلك مدرسة جديدة من المؤلفين، في المواضيع الفلكية، الذين كرسوا جهودهم بشكل أساسي لإظهار المشاكل التي انطوت عليها النظريات الفلكية اليونانية. ويجب أن نذكر هنا أعمال ابن الهيثم في الشكوك، وأبي عبيد الجوزجاني في

---

(\*) أستاذ في جامعة كولومبيا - الولايات المتحدة الأمريكية.

قام بترجمة هذا الفصل بدوي المسوط.

تركيب الأفلاك، وعالم الفلك الأندلسي المجهول الهوية في كتاب الاستدراك. ولقد تناول، بعد ذلك، المسائل التي أثارها هؤلاء العلماء الفلكيون، كل من العريضي والطوسي وقطب الدين الشيرازي وابن الشاطر. وقد شكل هؤلاء العلماء الأربعة ما يعرف الآن بـ «مدرسة مراغة»، إذ إن العلماء الثلاثة الأول قد عملوا في المرصد الذي بناه العاهل الإيلخاني هولاكو سنة ١٢٥٩م في مدينة مراغة الواقعة في شمال غرب بلاد إيران الحالية. وإذا أخذنا بعين الاعتبار أعمال هؤلاء فقط، لاستطعنا أن نشير إلى أن القرن الثالث عشر، القرن الذي عاش فيه هؤلاء الثلاثة، شهد قيام ثورة حقيقية في البحوث الفلكية، كما شهد تغييراً جذرياً في المواقف إزاء مسلمات علم الفلك. كما نستطيع القول إن نضج هذا التيار العلمي، الذي نشأ في القرن الحادي عشر، تكامل خلال القرن الثالث عشر، وبلغ أوجه مع أعمال ابن الشاطر في القرن الرابع عشر. لكنه تواصل أيضاً خلال القرنين الخامس عشر والسادس عشر، إذا ما أخذنا بعين الاعتبار أعمال علاء الدين القوشجي (١٤٧٤م)، تلميذ ألغ بك، وكتاب الهيئة المتصورة لمنصور بن محمد الدشتاكي (١٥٤٢م) الآتي ذكرهما.

وإذا اعتبرنا أن هذا النوع من الكتابات كان يشكل الدافع الرئيسي للأبحاث الفلكية، بعد القرن الحادي عشر، فعلينا أن نسلم، من وجهة النظر هذه، بأن أعمال عالم كجيمشيد بن غياث الدين الكاشي في القرن الخامس عشر، خصوصاً في كتابه الزيج الحاقاني، كانت تشكل حودة إلى التقليد القديم الذي كان قد تمثل في أعمال مثل أعمال الخوارزمي والبيروني. وذلك أن الاهتمام في هذه الأعمال الأخيرة كان ينصب على الحسابات الرياضية ولا يتمحور أبداً حول النظريات الفلسفية.

أما العلماء الآخرون الذين برزوا خلال القرنين الخامس عشر والسادس عشر، مثل أبي علي البرجندي، فقد حلوا على عاتقهم، كما يبدو، كتابة شروحات للأعمال السابقة، ولأعمال الطوسي خاصة. ولم ينتج هؤلاء كثيراً من الأعمال الجديدة التي يمكن أن تدرج في نتاج هذه المدرسة أو تلك. أما أعمال بعض العلماء الآخرين مثل ملخص الجفميين والهيئة الفصحى للقوشجي، فإنها كانت حقاً على مستوى ابتدائي. وإذا اقتصرنا على ماذين الكتائين فقط، فإننا نستطيع القول بأن هذين العاملين لم يقدرنا على فهم المنحى الإبداعي الذي أنت به مدرسة مراغة.

سنيين، فيما يلي، أن أعمال علماء مدرسة مراغة لم تشكل فقط نتاجاً مبتكراً في علم الفلك الرياضي، بل إنها طبعت أيضاً بطابعها البحوث الفلكية اللاحقة، خصوصاً في الغرب اللاتيني. وقد تكون على الأرجح هي التي أرست قواعد الفلك الكوبرنيكي نفسها.

سنعرض في هذا الفصل المسائل التي تمحورت حولها أعمال هذه المدرسة الجديدة بشكل خاص. وسنناقش بعد ذلك الحلول المختلفة التي اقترحها عدد من المؤلفين.



وسنختم هذا الفصل بتحليل العلاقات التي يمكن أن تربط هذه الحلول المقترحة بدراسات كوبرنيكوس الفلكية.

## أولاً: الإشكالات

تضمنت هينات الأفلاك البطلمية الواردة في كتابي بطلميوس المجسطي والانتصاص مشاكل عديدة، نذكر منها فيما يلي تلك التي كانت تعتبر مهمة: (١) مشكلة المحاذاة، (٢) مشكلة ميل وانحراف فلكي عطارد والزهرة، (٣) مشكلة معدل المسير في هيئة الكواكب العليا، (٤) مشكلة توافق أبعاد الكواكب على اعتبار أنها مرصوفة ضمن طبقات كروية يخترق بعضها البعض<sup>(١)</sup>. ويمكن أن نضيف على هذه القائمة مشاكل أخرى غيرها، خاصة إذا اعتبرنا بشكل جدي القوائم المختلفة التي تم جمعها خلال القرون المتأخرة، كالقائمة المنسوبة لمحمد بن القاسم المشهور بالأخوين والتي ترقى إلى السنين الأخيرة من القرن الخامس عشر وأوائل سني القرن السادس عشر. وسنورد فيما يلي قائمة بالمشاكل - المسماة «الإشكالات» - التي عولجت في رسالة الأخوين، وذلك كمثال نموذجي للدراسة الشاملة التي لقيتها هذه الإشكالات.

فالإشكالات الواردة في علم الفلك تصنف على رأي الأخوين على النحو التالي:

**الإشكال الأول** يتعلق بالسرعة والبطء والتوسط وهي الحركات التي لا تليق بالفلكيات البسيطة، والتي تتطلب حلاً خاصاً. ففي حالة الشمس مثلاً، يمكن حل هذا الإشكال بشكل سهل، إذا ما اعتمدنا أصل الفلك الخارج المركز أو أصل فلك التدوير.

**الإشكال الثاني** يتعلق بمظاهر بعض الكواكب، إذ إن أحجامها تبدو في بعض الأحيان أعظم من أحجامها في أحيان أخرى. هذا الإشكال يتضمن مثلاً تحليل كسوف الشمس الكامل عندما تكون الشمس في وسط حركتها الأكثر بطئاً، في حين أن هذا الكسوف يكون حلقياً فقط عندما تكون الشمس في الجهة المقابلة من مدارها حيث تكون حركتها أكثر سرعة، مع العلم بأن الشمس تكون محتجبة وراء جرم ثابت الحجم وهو القمر. ويمكن حل هذا الإشكال تبعاً للهيئة الثنائية لحل الإشكال الأول. فإذا اعتمدنا مثلاً أصل الفلك الخارج المركز يسهل تصور أن الشمس تبدو أصغر حجماً عندما تكون على الفلك الخارج المركز في الجزء الأكثر بعداً، وأكبر حجماً في الجزء الأكثر قرباً.

**الإشكال الثالث** يتعلق بظواهرات الوقوف والرجوع والاستقامة للكواكب، وهي ظواهرات تتناقض مع الانتظام المقترض لحركات الكواكب. وهنا أيضاً، يمكن أن ينحل

---

(١) لمرضى كامل لعله للمشاكل ولحلها للمقترحة انظر المناقشة للمعقة التالية.

هذا الإشكال يتبنى أصل فلك التدوير الذي نستطيع بواسطته أن نعلل تلك الظواهرات الثلاث دون أن يتعارض ذلك مع المبادئ العامة القائلة بأن الحركات الذاتية للأجرام السماوية هي حركات دائرية مستوية.

وهكذا يمكن حل المشاكل الثلاثة التي أشرنا إليها تبعاً للأصول التي كان بطليموس قد أوردتها في كتاب المجسطي، وذلك دون إدخال أي شرط متناقض للمبادئ العامة.

الإشكال الرابع هو كون الحركة مستوية حول نقطة هي غير مركز مدار محركها. وهذه هي المشكلة العامة المسماة إشكال معدل المسير. وهي تعم جميع هيئات أفلاك الكواكب، وتدخل بشكل خاص في هيئة أفلاك القمر حيث تكون حركة القمر مستوية حول مركز الأرض وليس حول مركز الفلك الحامل.

لقد أدى هذا الإشكال إلى الكثير من البحوث لأنه بدا وكأنه يشير إلى تناقض في الهيئات البطلمية، بين الفرضيات الفيزيائية والفرضيات الرياضية. وسنورد فيما بعد، ويتفصيل مسهب، الحلول المختلفة التي اقترحت لحل هذا الإشكال.

الإشكال الخامس يقع عند كون الحركة مستوية حول نقطة مع القرب والبعد عنها. وقد تطلب حل هذا الإشكال استخدام مبرهنة رياضية - تعرف اليوم باسم «مزدوجة الطوسي» - أصبحت جزءاً مكملًا لأغلب الأبحاث الفلكية التالية لاكتشافها.

الإشكال السادس ينجم من ضرورة انحراف قطر كرة متحركة عن مركز الكرة الحاملة للحركة. سوف نوضح هذا الإشكال عند شرح إشكال المحاذاة الذي أشرنا إليه سابقاً. أما هنا، فنشير فقط إلى أن هيئة أفلاك القمر التي اقترحتها بطليموس هي أبرز مثل لهذا الإشكال.

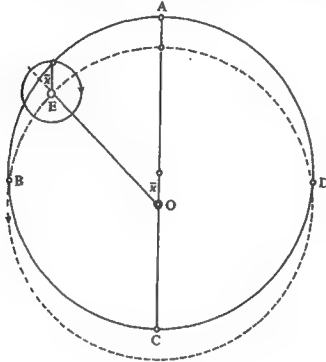
الإشكال السابع يحدث من عدم إتمام الدورة في حركة الأفلاك السماوية. وأفضل مثال يوضح هذا الإشكال هو ما ورد في حركة أقطار تداوير الكواكب السفلية حسب الهيئات البطلمية لهذه الكواكب في العرض. وهذا الإشكال هو أيضاً إشكال الميل والانحراف الذي أشرنا إليه سابقاً.

## ثانياً: نظرية بطليموس حول حركة الكواكب في الطول

سنبدأ بعرض سريع لنظرية بطليموس حول حركة الكواكب، وذلك لكي نستطيع تقدير أهمية هذه المشاكل وطبيعة الحلول والاتقادات التي وجهت إليها.

## ١ - حركة الشمس

يصف بطليموس حركة الشمس في الكتاب الثالث من المجسطي، تبعاً لأحد الأصلين وهما أصل الفلك الخارج المركز وأصل فلك التدوير. وكان أبولونيوس<sup>(٢)</sup> قد أقام البرهان على تكافؤ هذين الأصلين. فاقبض بطليموس هذا البرهان وجعله جزءاً مكملاً للمفاهيم الواردة في المجسطي. ففي الشكل رقم (٣ - ١)، يوجد الراصد على النقطة O مركز فلك



الشكل رقم (٣ - ١)

البروج. ويمكن أن نتصور أن الشمس تتحرك على الفلك الخارج المركز ABCD بسرعة مستوية بحيث تبدو للراصد القائم على الأرض وكأنها تجري بسرعة عندما تكون في النصف الأسفل BCD من الفلك الخارج المركز، ويبطئ عندما تكون في القسم الأعلى DAB. وبالطبع تبدو سرعتها الدنيا وهي على نقطة الأوج A. ويمكن أن توصف حركتها

Otto Neugebauer, «The Equivalence of Ecentric and Epicyclic Motion According to (٢) Apollonius», *Scripta Mathematica*, vol. 24 (1959), pp. 5 - 21.

Otto Neugebauer, *Astronomy and History: Selected Essays* (New York: وقد أعيد نشره في: Springer - Verlag, \*1983), pp. 335 - 351.

بشكل مكافئ، وكأنها تجري على فلك تدوير مركزه B بالاتجاه المخالف لتوالي البروج (أي باتجاه السهم المبين على الشكل والذي نسميه هنا الاتجاه «المخالف للتوالي» أو «التقدم» ونسمي الاتجاه المضاد اتجاه «التوالي»<sup>(٣)</sup>). بينما يتحرك مركز فلك التدوير B نفسه على دائرة موافقة المركز (وهي الدائرة المرسومة بالخط المتقطع في الشكل) بحركة مساوية بالقدرة، مختلفة في الاتجاه، لحركة فلك التدوير. وهكذا تكون الحركة الناتجة في الحالة الثانية، هي، بالطبع، نفس الحركة الناتجة عن أصل الفلك الخارج للمركز. إن أفضل وصف لتكافؤ هذين الأصلين، والحركتين الناتجتين عنهما، هو الذي جاء مسهباً في الفصل الثالث من المقالة الثالثة من المجسطي.

قد يبدو لغير المتخصص أن حركة الشمس تتضمن تناقضاً مع المبادئ الأساسية للحركة المستوية. إلا أن شرح بطليموس لهذه الحركة، بواسطة الأصلين المشار إليهما، بدأ مرضياً تماماً، إذ إن كل الحركات كانت تحدث حقاً حول مركز كرة معينة، حتى ولو كان هذا المركز مغايراً لمكان الراصد حسب أصل الفلك الخارج للمركز، فإنه مطابق له في أصل فلك التدوير. وهكذا يمكن تركيب الحركة من حركات مستوية تحدث حول مراكز أكثر، فتكون بالتالي موافقة للمبادئ الأساسية.

## ٢ - حركة القمر

أما في حالة القمر، فالوضع يختلف تماماً لأن حركته أكثر تعقيداً من حركة الشمس. لقد حاول بطليموس في أول الأمر، في المقالة الرابعة من المجسطي، تطبيق هيئة إبرخس التي هي، بشكل أساسي، امتداد لهيئة الشمس، لكن تبين له بسرعة أن هذه الهيئة لا تعني المطلوب إذ إنها لم تنبئ بجميع حركات القمر بشكل صحيح. لذلك تبني بطليموس في آخر الأمر، في المقالة الخامسة من المجسطي، ويعد بحث مطول بدا كأنه تغير في الرأي،

(٣) لوصف اتجاه الحركة والمسائل المتعلقة بها، انظر: Ptolemy, *Ptolemy's Almagest*, translated and annotated by G. J. Toomer (New York: Springer - Verlag, 1984), pp. 20 and 221.

حيث يقول إن القطعة التي تدور بـ «اتجاه عقارب الساعة» تكون «مضادة [أي بالاتجاه المخالف] بالنسبة لتوالي البروج». أما الفلكيون العرب فقد وصفوا هذه الحركة على أنها «تلقاً»، وذلك لأنهم تبعوا الإفرقي في توهم الكواكب الكائنة على مدار فلك البروج على أشكال حيوانات كالحمل والثور والتوأم والسرطان... الخ... وأنها تطلع على هذا التوالي فوق أفق المشرق، وتدور كلها دورة واحدة كل يوم من المشرق إلى المغرب. فلما كان الحمل دائماً أمام الثور تكون الحركة قدماً، أي نحو الأمام بالنسبة لصورة البرج، عندما تكون من جهة الثور نحو الحمل. ولكن تلك الجهة هي عكس الجهة التي طلعت بها هذه البروج، فلذلك سميت «على خلاف التوالي». وبالطبع فجهة التوالي هي جهة الحركة من الحمل نحو الثور والتوأم والسرطان... الخ، وهي أيضاً جهة حركات الكواكب التي تسمى أحياناً أيضاً من المغرب نحو المشرق. سوف نستخدم في هذا الفصل اصطلاح الحركة هذا كما ورد في النصوص العربية القديمة، أي «على التوالي» و«على خلاف التوالي».

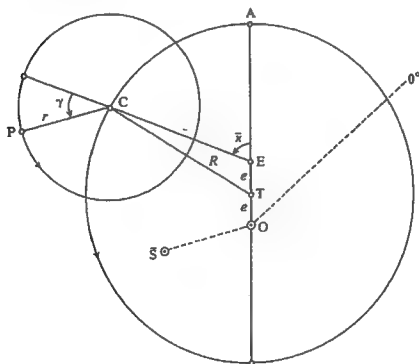


والمتمدد إلى مركز فلك التدوير  $C$ ، والتمهي إلى نقطة الذروة الوسطى  $H$  على محيط فلك التدوير. ولما كانت النقطة  $N$  دائمة الحركة لكي تبقى أبداً مقاطرة لنقطة  $F$  المتحركة، فإنها نقطة غير ثابتة ومع ذلك تقاس حركة القمر ابتداءً منها، مما يؤدي إلى إشكال المحاذاة المشار إليه سابقاً.

وخلاصة ما تقدم أن على المرء أن يقبل في هيئة بطليموس لحركة القمر تناقضات تنشأ عنها مشاكل خطيرة. وذلك أن الأفلاك السماوية كانت متصورة كأنها كرات حقيقية صلبة (مصمتة)، فيستحيل أن تتحرك هذه الأفلاك بحركة مستوية حول مراكز غير مراكزها الذاتية، أو أن تقاس حركاتها بالنسبة إلى نقاط متحركة لا تصلح أن تكون مبدأ لحركات مستوية. لقد تمحورت حول هاتين النقطتين جميع الانتقادات التي وجهت إلى الهيئات البطلمية، وكل التعديلات التي أضيفت إليها.

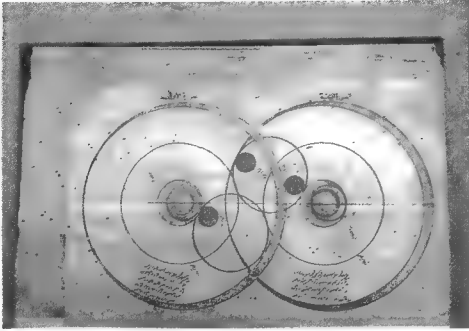
### ٣ - حركات الكواكب العليا (زحل والمشتري والمريخ) وكوكب الزهرة

إن حركات الكواكب العليا، كما تصورها بطليموس، أكثر بساطة من حركات القمر. وهي تتضمن العناصر التالية: يفترض الراصد، حسب الشكل رقم (٣ - ٣)،



الشكل رقم (٣ - ٣)

على النقطة O. وتفترض النقطة T مركزاً للفلك الحامل الذي يجعل فلك التدوير ويديره على التوالي. أما فلك التدوير نفسه، فإنه يدور على التوالي حول مركزه C. ويتحرك الكوكب P إلى التوالي بحركة فلك تدويره، وهي حركة مستوية تقاس بزاوية تسمى خاصة الكوكب. أما مبدأ حركة الخاصة هذه فيقاس من امتداد الخط الخارج من مركز فلك التدوير C والمتصوب نحو النقطة E، التي تقع على الخط المار بالمراكز OTA، بحيث يكون بعدها عن مركز الفلك الحامل T، كبعد مركز الفلك الحامل عن مركز العالم O.



### الصورة رقم (٣ - ١)

نظام الدين النيسابوري، توضيح التذكرة لتصير الدين الطوسي  
(الهند، مخطوطة رامبور، ٣٧١٦).

لقد شُرح أكثر من مرة كتاب نصير الدين الطوسي في علم الهيئة، المسمى بالتذكرة،  
ونجد هنا شرحاً متأخراً حول مدارات المريخ.

المشكلة في هذه الهيئة تكمن في حركة الفلك الحامل. وذلك أن الحامل، حسب وصف بطليموس له، يحرك فلك التدوير إلى التوالي. غير أن مركز فلك التدوير C يقطع أقواساً متساوية في أوقات متساوية ليس حول مركز حامله T بل حول نقطة أخرى E التي

تسمى نقطة معدل المسير. وهكذا فإن بطليموس الذي يفترض في كتاب الاختصاص أن الفلك الحامل كرة حقيقية طبيعية، يغير هذا الفلك أن يدور بحركة مستوية حول مركز مغاير لمركزه. بكلام آخر، إن هذا الوضع يتطلب أن تتحرك هذه الكرة بحركة مستوية على محور لا يمر بمركز تلك الكرة، وهذا محال.

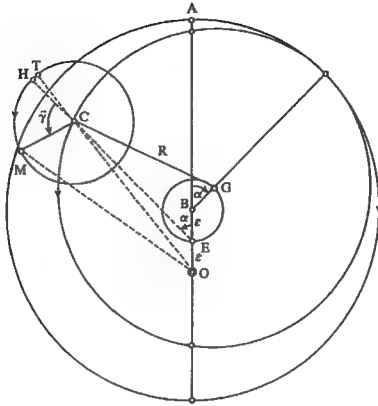
#### ٤ - حركة عطارد

نظراً لصعوبة رصد عطارد، بسبب قربه من الشمس وبسبب حركته السريعة نسبياً، تتضمن هيئة بطليموس الخاصة بهذا الكوكب حركات كثيرة التعقيد لا يمكن إدراجها ضمن الهينات التي اقترحت حتى الآن. زد على ذلك أن هذا الكوكب يتميز عن باقي الكواكب، إذ كان ينسب لمداره حضيضان بدلاً من حضيض واحد كما كانت الحال في الكواكب الأخرى. وكان يفترض في هذين الحضيضين أن يقعا على نقطتين متناظرتين بالنسبة إلى الخط المار بالمراكز بحيث تبعد كل واحدة منهما عن نقطة الأوج بمقدار 120 درجة.

يمكن أن توصف حركة عطارد، بالنسبة إلى راصد على مركز العالم O على الشكل التالي<sup>(٥)</sup>: لنأخذ، حسب الشكل رقم (٣ - ٤)، فلکاً شاملاً شبيهاً بفلك جوزهر القمر. ولنفرض أنه يتحرك على خلاف التوالي حول المركز B، بحيث يحرك معه أوج الفلك الحامل. لنفرض أن هذا الأوج يقع على امتداد الخط BG، وأن الفلك الحامل نفسه يدور باتجاه التوالي حول مركزه G، ويعمل معه مركز فلك التدوير C، بحيث يجعل زاوية ABC مساوية دائماً لزاوية ABG. أما فلك التدوير فيدور هو أيضاً باتجاه التوالي حول مركزه C، ويحرك معه الكوكب M، في حركته الخاصة التي تقاس انطلاقاً من امتداد الخط BC. وهنا ما يمكن مركز فلك التدوير C من أن يقترب من الأرض - أي أن يبلغ الحضيض - مرتين في كل دورة، وذلك عندما تكون الزاوية ABG مساوية لـ 120 درجة ولـ 240 درجة تقريباً. وفي هاتين الحالتين يمر الخط GC بالنقطة E. وبما أن مبدأ زاوية الخاصة الوسطى يكون دائماً من امتداد الخط BC، فإن النقطة E تلعب دور نقطة معدل المسير في هيئة كوكب عطارد، وهو تماماً الدور الذي لعبته في هينات الكواكب العليا.

(٥) للعرض الهنسي لهيئة عطارد في كتاب الجسطي، انظر: Ptolemy, Ibid., pp. 444 - 445, and Claudius Ptolemaeus, *L'Almageste*, traduction française par N. Haime (Paris: [s. n.], 1813 - 1816), réimprimé (Paris: Hermann, 1927), tome 1, pp. 160 - 162.





الشكل رقم (٣ - ٤)

وهكذا يظهر بوضوح أن هيئة عطارد تتضمن مشاكل مشابهة لتلك التي رأيناها في هيتي القمر والكواكب العليا. لنأخذ مثلاً الآلية المقترحة هنا، والتي يتحرك الفلك الحامل بواسطتها باتجاه معين، حول مركز مغاير لمركزه، بينما يتحرك هو نفسه حول مركزه الخاص به بالاتجاه المقابل. إن هذه الآلية مشابهة تماماً لتلك التي تم استخدامها سابقاً في هيئة القمر. إن الفارق الرئيسي بين هاتين الهيئتين هو أن مبدأ زاوية الخاصة الوسطى كان في حالة القمر من امتداد الخط المار بنقطة المحاذاة المتحركة  $N$ ، بينما تكون النقطة المشابهة في هيئة عطارد ثابتة في منتصف الخط  $OB$ ، وتلعب دور مركز معدل المسير الثابت الشبيه بالدور الذي لعبته في حالة الكواكب العليا. ويفترض في كلتا الحالتين أن يتحرك الفلك الحامل حول مركزه الخاص به حركة غير مستوية، في حين أن حركته المستوية تتم حول نقطة أخرى، هي مركز العالم في حالة القمر، ونقطة معدل المسير  $B$  في حالة عطارد.

فلا عجب إذاً أن تكون الاعتراضات التي أثبتت حول هيئة بطليموس للقمر - وخاصة تلك التي تتعلق بنقطة المحاذاة - وحول هيئة الكواكب العليا - وخاصة تلك التي تتعلق بمركز معدل المسير - هي عينها التي أثبتت أيضاً حول هيئة بطليموس لفلك عطارد. وذلك لأن هذه الهيئة الأخيرة بدت وكأنها تجمع بين سينات الهيئتين السابقتين.

## ثالثاً: حركة الكواكب في العرض

إن العرض السابق للهيئات التي اقترحها بطليموس للكواكب يفترض أن قدر حركة الكواكب في العرض لا يحس به، أو أنه، إذا وجد، لا يؤثر على حركة الكواكب في الطول، وهذا غير صحيح. الواقع هو أن الكواكب نادراً ما ترى في سطح فلك البروج حيث تقاس حقاً حركة الكواكب الطولية، وقد يكون للجزء العرضي من الحركة تأثير ملموس في بعض الأحيان، وعندئذ يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار. ولكن هذا الجزء العرضي كان يعتبر، حسب منهج بطليموس التقليدي، مجرد تصحيح لحركة الكوكب في الطول، وعليه فقد عولج في فصل مستقل بذاته.

لقد وردت في كتاب المجسطي ثلاث هيئات مختلفة لوصف حركات الكواكب في العرض، ألا وهي: هيئة القمر، هيئة الكواكب العليا زحل والمشتري والمريخ، وهيئة الكواكب السفلى الزهرة وعطارد. وهذا الترتيب هو أيضاً ترتيب هذه الهيئات حسب مستوى التعقيد المتزايد فيها.

### ١ - عرض القمر

تتميز هيئة القمر بالبساطة لأن سطح مدار القمر يمر بالأرض، وبالتالي فإن حساب عرض القمر بالنسبة إلى الراصد القائم على الأرض يكون قليل الصعوبة. وفي الواقع، إن ميل سطح مدار القمر الثابت بالنسبة إلى سطح فلك البروج، وكون الراصد قائماً على مركز فلك البروج، يجعلان حساب عرض القمر شبيهاً جداً بحساب ميل الشمس بالنسبة إلى سطح معدل النهار.

ولما كان ميل سطح مدار القمر ثابتاً بالنسبة إلى منطقة فلك البروج، بقدر قريب من خمس درجات، فإن العرض الأقصى للقمر قد يبلغ هو أيضاً حوالي خمس درجات. وهذا ما تؤكده الأرصاد بالفعل. ولكن الأرصاد أثبتت أيضاً من جهة أخرى، أن عرض القمر لا يصل دائماً إلى حده الأقصى في مكان معين من منطقة البروج، بل يبدو وكأنه ينتقل من مكان إلى آخر حول هذه المنطقة. وإذا أضفنا إلى ذلك أن الكسوفات الشمسية تقع هي أيضاً في أماكن مختلفة من منطقة البروج، نستنتج أن خط التقاطع بين سطحي مدار القمر ومنطقة البروج، أي خط العقدتين، هو أيضاً متنقل. وهذا لا يمكن أن يحدث إلا إذا تصورنا أن هناك فلكاً شاملاً يحيط بجميع أفلاك القمر الأخرى ويديرها كما يدير أيضاً منطقة الفلك الحامل للقمر حسب تعبير بطليموس. ويسمى هذا الفلك الشامل «الفلك الممثل»، أو «فلك الجوزهر»، ويفترض به أن يتحرك بحوالى ثلاث دقائق في اليوم الواحد على خلاف التوالي.

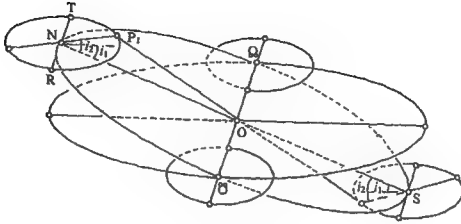
والخلاصة هي أن هيئة القمر، بشكلها الكامل، تتضمن الأفلاك التالية:  
 (١) الفلك «المثلث» الذي يحرك العقدتين وكل باقي الأفلاك على خلاف التوالي،  
 (٢) الفلك «المائل» الذي يتحرك بنفس الاتجاه، والذي يسببه يحدث للقمر عرض، وتنطبق  
 منطقتي على سطح منطقة الفلك الحامل، (٣) الفلك «الحامل» الذي يتحرك بحركته الخاصة  
 باتجاه التوالي، وأخيراً (٤) فلك «التدوير» الذي يحمل القمر ذاته وهو بدوره محمول على  
 الفلك الحامل.

لقد أشرنا أعلاه إلى الاعتراضات التي سيقف ضد هذه الهيئة من حيث قدرتها على  
 تحليل حركة القمر في الطول. لكن هذه الاعتراضات لا تمس هذه الهيئة من ناحية الحركة  
 في العرض، لأن جميع الأفلاك المقروضة لهذه الهيئة بالذات، والتي توجب حركة  
 العرض، تدور حول مراكزها الخاصة بها، التي تنطبق، في هذه الحالة، مع مركز العالم.

## ٢ - حركة عرض الكواكب العليا

إن الوضع يصبح أكثر تعقيداً بالنسبة إلى الكواكب العليا، لأن سطوح مدارات هذه  
 الكواكب، كما هو معروف حالياً، لا تمر بالأرض، التي كانت تعتبر مركز العالم، بل  
 بالشمس. فإن تحديد حركة العرض، بالنسبة إلى راصد على الأرض يستخدم الإحداثيات  
 ذات المركز الأرضي، يتطلب إجراءات أكثر تعقيداً من الإجراءات التي استخدمت أعلاه  
 لوصف حركة القمر في العرض.

وكما هي الحال بالنسبة إلى هيئة أفلاك القمر، فإن أفلاك الحوامل للكواكب العليا  
 (الشكل رقم (٣ - ٥)) هي الأخرى مائلة بالنسبة إلى منطقة البروج ميلاً ثابتاً قدره  $12^\circ$ .  
 ويسمى خط التقاطع بين سطح منطقة الفلك الحامل وسطح منطقة البروج، هنا أيضاً،  
 بخط العقدتين. وتسمى نقطة هذا الخط التي يمر فيها فلك التدوير وهو صاعد من  
 الجنوب إلى الشمال «نقطة الطلوع» أو «الرأس»، وتسمى النقطة المقابلة لها على فلك  
 البروج «نقطة الغروب» أو «الذنب». والخط الخارج من مركز الراصد عمودياً على خط  
 العقدتين، يحدد الجهة العليا للفلك الحامل عندما يتقاطع مع محيط الفلك الحامل في جهة  
 الشمال على النقطة N، ويحدد الجهة السفلى للفلك الحامل عندما يتقاطع مع محيط الفلك  
 الحامل في جهة الجنوب على نقطة S. ويختلف هذا الخط بشكل عام عن الخط المار بالأوج  
 والحضيض لأنه يمر فقط بمركز فلك البروج O، ولا يمر بمركز فلك الحامل ولا بنقطة  
 معدل المسير كما يفعل الخط المار بالأوج والحضيض.



الشكل رقم (٣ - ٥)

ولكن سطوح مناطق أفلاك تدوير الكواكب العليا، بخلاف هيئة القمر، لا تقع في سطح منطقة الفلك الحامل، كما كان مفروضاً عند اعتبار حركة الطول الذاتية، بل إن هذه السطوح تميل بالنسبة إلى سطح منطقة البروج، عندما يعتمد فلك التدوير عن العقدتين، بحيل قدره  $i_2$ . ويسمى هذا الميل أيضاً «الانحراف»، ويبلغ أقصى حده الشمالي عندما يصل مركز فلك التدوير إلى قمة الفلك الحامل. وكذلك يبلغ حداً أقصى جنوبياً، هو أعظم إطلاقاً من الحد الأقصى الشمالي، عندما يصل مركز فلك التدوير إلى قعر الفلك الحامل. وسبب ذلك هو أن قسم سطح منطقة الفلك الحامل الذي يقع شمال سطح منطقة البروج أكبر من القسم الجنوبي. وهذا يعني أن القسم الجنوبي يكون أقرب إلى الراصد، وبالتالي فهو يحدث زاوية أكبر من الأولى.

ولكن عندما يكون مركز فلك التدوير على خط العقدتين، يفترض في سطح منطقة التدوير أن يعود وينطبق على سطح منطقة البروج. عندها تنعدم زاويتا العرض، أي تصبح زاويتا ميل الفلك الحامل وانحراف فلك التدوير مساويتين للصفر.

حاصل ذلك أننا نرى سطح منطقة فلك التدوير يتأرجح حول محور هو  $RNT$ ، عمودي على الخط الواصل بين أوج فلك التدوير وحضيضه الحقيقيين، كما يكون دائماً موازياً لسطح منطقة البروج بالتقريب. وهذه النتيجة، بحد ذاتها، غير مقبولة لأنها تتضمن حركة تأرجحية في جزء من الفلك حيث كان لا يسمح إلا بوجود حركات دائرية متكاملة. وقد اقترح بطليموس لتعليل هذه الحركة، في الفصل الثاني من المقالة الثالثة عشرة من للجسطي، إضافة دائرتين صغيرتين إلى طرفي القطر المتأرجح  $P_1$  لفلك التدوير، بحيث يكون نصف قطر كل من الدائرتين الصغيرتين مساوياً لقوس الانحراف الأقصى، ويكون سطح هاتين الدائرتين عمودياً على سطح منطقة الحامل الذي يقاس الانحراف منه. وبإضافة هاتين الدائرتين يمكن أن يقال إن الخط الواصل بين أوج فلك التدوير وحضيضه

الحقيقيين لا يتحرك بحركة تأرجحية، بل يتحرك طرفاه على محيط هاتين الدائرتين الصغيرتين. غير أن الوقت الذي تستغرقه حركة التدوير على القسم الشمالي الأكبر للفلك الحامل، أطول عامة من الوقت الذي تستغرقه هذه الحركة على القسم الجنوبي من نفس الفلك الحامل. ولما كانت مدة حركة طرف القطر على إحدى الدائرتين الصغيرتين مساوية للمدة التي يتحرك بها فلك التدوير على الفلك الحامل، نتج عن ذلك أن حركة طرف قطر التدوير على الدائرة الصغيرة ليست حركة مستوية دورية، ووجب أن يكون لها معدل مسير خاص بها، كما كان هناك معدل مسير يدور مركز التدوير حوله بحركة مستوية دورية.

لا بد وأن تكون تلك النتيجة قد أوقعت بطليموس في إحراج عظيم، لأنه يستميع القارئ عذراً ويطلب منه ألا يعتبر ذلك الحل في غاية التعقيد إذ يقول: «ولا يظن أحد أن هذه الأصول وما أشبهها عسير وقوعها بأن يجعل نظره فيما قلنا كنظره إلى ما يكون من الأشياء التي تتخذ بالحيلة ولطف الصنعة وصعوبتها وعسر وقوعها. وذلك أنه ليس ينبغي أن يقاس على الأمور الإلهية بالأمور الإنسية ولا أن يقصد إلى تصحيح ما هذا مبلغ جلال خطره بتناول المثالات له من الأمور التي هي في غاية البعد عن الشبه به»<sup>(٦)</sup>. ثم يتابع قوله فيؤكد أنه تقبل ذلك الحل فقط لأنه يمثل الحركة السماوية بشكل أسهل.

وهذه النقطة بالذات هي موضوع الإشكال السابع المذكور أعلاه، والتي ظن فيها أنها تنافي الأصول التي كان يعمل بها في علم الفلك. وسنرى فيما بعد أن اكتشاف ما سمي لاحقاً بـ«مزوجة الطوسي» يمكن من حل هذا الإشكال. ويمكن القول، بشكل أدق، إن «المزوجة» قد ابتكرت من قبل الطوسي خصيصاً لحل هذا التناقض بالذات، وإنما طبقت لاحقاً للحصول على حركة مستقيمة كنتيجة لحركتين دائريتين. زد على ذلك أن «المزوجة»، المركبة من حركتين دائريتين، تسمح بتأرجح طرف قطر التدوير في سطح واحد، بدون أن تحمل بأصول الحركة الدائرية، وتسمح بالتالي بعدم اضطراب الحركة الطولية.

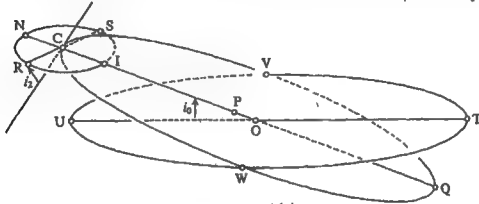
### ٣ - حركة الكواكب السفلية في العرض

إن هيئة بطليموس لحركة الكواكب السفلية أكثر تعقيداً من الهيئات السابقة. وتفترض، في حالة كوكب الزهرة مثلاً، أن ميل الفلك الحامل والتدوير لا يكون ثابتاً، بل يتأرجح كأفلاك تدوير الكواكب العليا حول محور يمر بمركز فلك البروج. وأخيراً أن سطح منطقة فلك التدوير يتأرجح أيضاً حول محور عمودي على المحور الأول، وهكذا يتحرك بحركتين تأرجحيتين خاصيتين به. وجميع هذه الحركات تحدث في الأخرى في حالة عطارد، ولكن بعكس اتجاهاتها في حالة الزهرة.

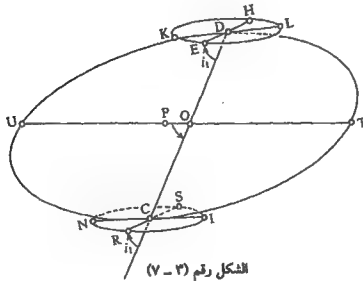
(٦) بطليموس، للجصفي (خطوطة، نسخة اسمحق - ثابت، المتحف البريطاني، إضيائي ١٧٤٥)، المقالة

١٣، الفصل ٢، الورقة ٢٠٣.

ولكي نعطي مثالاً على هيئة كوكب الزهرة، فإننا نأخذ الشكل رقم (٣ - ٦) الفلك الحامل الخارج المركز مائلاً عن سطح منطقة البروج بزواوية قدرها  $i_0$ ، ونجعل سطح الفلك الحامل يقطع سطح منطقة فلك البروج على خط العقدتين المار بمقام الراصد على مركز البروج. وفي هذه الهيئة، وخلافاً لحال الكواكب العليا، يقطع خط العقدتين الخط المار بالأوج والحضيض على زاوية قائمة. ولكن ميل الحامل لم يعد ثابتاً، كما كانت الحال في هيئة الكواكب العليا وفي هيئة أفلاك القمر. ففي هذه الهيئة يقترب ميل الفلك الحامل  $i_0$  بحركة فلك التدوير، بحيث ينطبق سطح منطقة الحامل على سطح منطقة البروج عندما يكون فلك التدوير على رأس الجوزهر. وعندما يبدأ فلك التدوير بالحركة نحو الشمال، يبدأ ميل الفلك الحامل بالازدياد هو أيضاً باتجاه الشمال، إلى أن يصل إلى غايته  $i_1$  عندما يصل فلك التدوير إلى أوج الحامل. بعد ذلك يبدأ الميل بالتناقص أثناء انتقال فلك التدوير من أوج الحامل إلى عقدة الذنب، إلى أن يعود إلى الانطباق على سطح منطقة البروج كما في الشكل رقم (٣ - ٧).

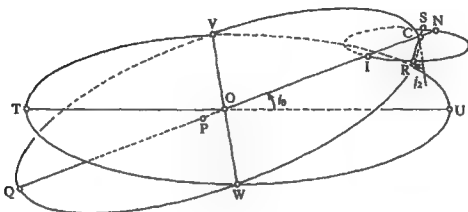


الشكل رقم (٣ - ٦)



الشكل رقم (٣ - ٧)

ولكن عندما يتحرك فلك التدوير من عقدة الذنب باتجاه حضيض الحامل، يبدأ ميل الحامل بالازدياد ثانية باتجاه الشمال كما نرى في الشكل رقم (٣ - ٨)، حتى يبلغ مرة أخرى غايته القصوى  $\epsilon_0$  عندما يصل فلك التدوير إلى الحضيض. وفي عودة فلك التدوير إلى عقدة الرأس، يعود سطح منطقة الحامل إلى وضعه الأصلي على منطقة البروج كما نرى في الشكل رقم (٣ - ٧). هذه هي الحركة التارجحية الأولى في هيئة كوكب الزهرة.



الشكل رقم (٣ - ٨)

أما حركة التارجح الثانية فتسمى بحركة «الالتواء». ولشرح هذه الحركة يفترض بطليموس أن سطح منطقة الحامل يكون منطبقاً على سطح منطقة البروج، عندما يكون فلك التدوير على رأس الجوزهر، كما نرى في الشكل رقم (٣ - ٧). فالخط COD هو المحور الأول الذي تتم حوله حركة الالتواء. وهو خط التقاطع بين سطح منطقة البروج والسطح العمودي الناتج من الخط الذي يصل بين أوج التدوير R أو H، وحضيضه S أو B، المرتبين وبين مركز فلك البروج. أما المحور الثاني الذي تتم حوله حركة الانحراف فهو الخط KDL أو NCI (وهو القطر الأوسط) العمودي على المحور الأول، والذي يمر بمركز فلك التدوير D أو C.

عندما يكون فلك التدوير على رأس الجوزهر، ينطبق قطر التدوير الأوسط KDL، على سطح منطقة البروج، وعندما يتقدم العرض الناتج عن حركة الالتواء. ولكن سطح فلك التدوير يتعرض لحركة الانحراف في ذلك الوضع بحيث يبلغ الانحراف زاويته القصوى  $\epsilon_1$  في ذلك الوضع بالذات. وعندما يبدأ فلك التدوير بالحركة نحو الأوج، يتحرك سطح منطقة الحامل نحو الشمال كما هو بين في الشكل رقم (٣ - ٦)، ويبدأ انحراف سطح فلك التدوير بالتناقص من غايته القصوى  $\epsilon_1$  إلى أن يبلغ الصفر عندما يصل

فلك التدوير إلى الأوج. ويتزايد بالمقابل الالتواء الذي كان منعماً عند العقدة إلى أن يصل إلى غاية الالتواء القصوى  $\delta$  عندما يكون فلك التدوير في الأوج.

عندما يصل فلك التدوير إلى الأوج، يبلغ ميل سطح منطقة الحامل غايته التي هي  $\delta$ ، ويلتوي سطح فلك التدوير بحيث تكون جهته الشرقية نحو الشمال في غاية الالتواء التي هي  $\delta$ ، وينعدم عندئذ انحراف الخط الواصل بين مركز فلك البروج وأوج التدوير وحضيضه المرئيين وينطبق ذلك الخط على سطح منطقة الحامل.

وعندما يتحرك فلك التدوير نحو ذنب الجوزهر، كما في الشكل رقم (٣ - ٧)، يعود سطح منطقة الحامل لينطبق على سطح منطقة البروج، بينما يبلغ سطح منطقة التدوير غاية انحرافه  $\delta$ ، ويكون أوج التدوير نحو الشمال، وينعدم الالتواء في ذلك الوضع للتدوير.

ولكن عندما يتحرك فلك التدوير نحو حضيض الحامل، كما في الشكل رقم (٣ - ٨)، يتزايد ميل الحامل ليصبح ميل حضيضه في غايته الشمالية، ألا وهي  $\delta$ ، أما سطح فلك التدوير فيلتنوي في ذلك الموضع ليبلغ التواء جهته الشرقية غايته القصوى نحو الشمال، ألا وهي  $\delta$ ، تماماً كما كانت الحال عندما كان فلك التدوير في أوج الحامل. وهنا أيضاً ينعدم انحراف فلك التدوير.

أما في حالة عطارد، فإن ميل الحامل والتواء فلك التدوير وانحرافه تتم جميعها باتجاهات معاكسة لتلك التي تتم في حالة الزهرة. عندما يكون التدوير في إحدى العقدتين، يكون انحراف عطارد شمالياً حيث يكون انحراف الزهرة جنوبياً، والعكس صحيح. أما في الأوج، فإن ميل حامل عطارد يكون في غايته الجنوبية، عندما يبلغ ميل حامل الزهرة غايته الشمالية. وكذلك يكون التواء عطارد جنوبياً في الأوج حيث يكون شمالياً للزهرة.

وإذا كانت ظاهرة الانحراف في حالة الكواكب العليا قد أخرجت بطليموس وأجبرته على أن يستخدم دوائر صغيرة ليفسر انحراف تدوير الكواكب العليا، فإن ظاهرات الميل والانحراف والالتواء في حالة الكواكب السفلى قد شكلت إحراجاً مثلاً له، إذ إن كل واحدة منها تتطلب دوائر صغيرة خاصة تسمح بتأرجح أقطار التدوير المتعددة. فلا عجب إذن أن يظن بتلك الهيئات أنها متناقضة لأصول علم الفلك الأولية. وهنا أيضاً يمكن استخدام «مزدوجة الطوسي» بشكل فعال ليمسح لجميع أطراف تلك المحاور المتعددة أن تتحرك بحركات مستقيمة ناتجة عن حركات دائرية.

هله هي باختصار نظرية بطليموس لحركات الكواكب في العرض. وكما رأينا، فإنه كان من السهل أن يؤخذ عليها مأخذ عديدة، هذا بالرغم من أنها كانت مستندة إلى الأرصاد وقادرة على التنبؤ بموضع كوكب معين في أي وقت معين. والمشكل الرئيسي



الذي كان يعم جميع هذه الهيئات، وعلى جميع المستويات، هو الذي أشرنا إليه سابقاً باسم الإشكال السابع، والذي يلمخص بقبول حركات تأرجحية ضمن الحركات السماوية التي كان يجب أن تكون كلها دائرية. وإذا أمكن إبدال هذه الحركات التآرجحية بحركات دورية، بفضل «مزدوجة الطوسي»، يبقى هناك الشكل المصغر الذي يتطلب أن تعدل الحركات الدورية بحيث تتحرك دائرتا «المزدوجة» بسرعة مستوية، وهذا ليس سهلاً.

## رابعاً: إصلاح هيئة بطليموس للكواكب

لقد رأينا أعلاه أن الانتقادات الهامة الأولى التي وجهت إلى هيئة بطليموس بدأت تظهر، حسب ما نعلم، خلال القرن الحادي عشر. وقد تطورت الأبحاث، خلال ذلك القرن، باتجاهين رئيسيين في آن واحد، وهما: الاتجاه الذي يقتصر على الكشف عن شوائب هيئة بطليموس، والاتجاه الذي تعدى ذلك إلى استنباط هيئة بديلة لا تعترىها الشوائب التي ألّمت بهيئة بطليموس.

لقد تمثل الاتجاه الأول الذي كان مكرساً لانتقاد هيئة بطليموس بأبن الهيثم (المتوفى بعد سنة ١٠٤٠م) في كتابه الشكوك على بطليموس<sup>(٧)</sup>، وبالفلكي الآخر المجهول الهوية في كتابه الاستدراك على بطليموس<sup>(٨)</sup> الذي لم يعثر عليه حتى الآن. ونحن نعرف، استناداً إلى كتاب ابن الهيثم، أن عملية النقد لم تكن محصورة بهيئة بطليموس للكواكب فقط، بل تعدتها لتشمل أعمال بطليموس الأخرى كالتي تتعلق بعلم المناظر. وهذا يعني أن البواعث الرئيسية التي دفعت إلى تأليف هذا الكتاب كانت أهم بكثير من البواعث الفلكية. ويمكن القول إن هذا النوع من المؤلفات يتبع نفس المنهج الذي اتبعه الطبيب أبو بكر الرازي (المتوفى سنة ٩٢٥م) الذي ألف كتاباً مشابهاً لكتاب ابن الهيثم ينتقد فيه جالينوس (القرن الثاني الميلادي)، وسماه الشكوك على جالينوس. سوف نعرض في الفقرات التالية مختصراً لأعمال الفلكية التي وردت في كتاب ابن الهيثم. أما كتاب المؤلف المجهول الهوية، فكان، على ما يبدو، مكرساً للمسائل الفلكية، إذ كلما كان يصل إلى إحدى النقاط الصعبة التي أشرنا إليها أعلاه في هيئة بطليموس كان يقول: هذا ما يصعب القبول به، وقد فصلنا ذلك في كتاب الاستدراك.

(٧) انظر: أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، الشكوك على بطليموس، تحقيق عبد الحميد صبره ونبيل الشهاوي؛ تصدير إبراهيم مذكور (القاهرة: مطبعة دار الكتب، ١٩٧١).

(٨) نحن نعرف هذا المؤلف المجهول الهوية من خلال كتابه للسمي ببساطة كتاب الهيئة، الذي يبدو أنه محفوظ في نسخة وحيدة في مكتبة الجامعة العشمانية (الدكن، الهند)، وسوف تقدم تلخيصاً لمحتوياته في ما بعد.

## ١ - محتوى كتاب «الشكوك» لابن الهيثم<sup>(٩)</sup>

يبدأ الكتاب بمقدمة يعرض فيها ابن الهيثم المبادئ التي ينوي اتباعها في عمله. ويعد أن يقر بالامتياز الذي تمتعت به أعمال بطليموس يتابع قائلاً إنه لن يشير في كتابه إلا إلى المسائل (الشكوك) التي لا يمكن تفسيرها بشكل مرضٍ، والتي يرد فيها تناقض مع الأصول الأولية المسلم بها.

### أ - القطر المرئي للشمس

ينقسم الكتاب إلى ثلاثة أقسام رئيسية، كل واحد منها مكرس للقضايا المتناقضة في أحد مؤلفات بطليموس الثلاثة: للجسطي، كتاب الاقتصاد والمناظر. يبدأ القسم الأول، تبعاً لترتيب الوارد في المجسطي بمسألة الفصل الثالث من المقالة الأولى، وهي مسألة القطر المرئي للشمس. وذلك أن قطر الشمس المرئي عندما تكون الشمس قرب الأفق، يبدو أعظم من قطرها المرئي عندما تكون في وسط السماء. وهنا يستخدم ابن الهيثم النتائج التي توصل إليها بطليموس ذاته في كتاب المناظر ليخالف بها ما قاله بطليموس في المجسطي.

### ب - تحديد الجهات بالنسبة إلى مركز العالم

ويطالب ابن الهيثم بطليموس، فيما يتعلق بالفصل الخامس من المقالة الأولى من المجسطي، بمزيد من الدقة عندما يتحدث عن المفاهيم التي كان هو نفسه قد قررها. ويعترض على وصف بطليموس لوضع الأرض بأنه «أعلى» أو «أسفل» من مركز العالم، إذ إن جميع تلك الجهات لا تعني شيئاً بالنسبة إلى مركز العالم لأنها كلها في جهة الـ «أعلى». ولا يعتبر ابن الهيثم هذا النوع من «الغلط» تناقضاً، بل خطأ في «التصور». وكذلك عندما يستخدم بطليموس تعبير «الشرق» أو «الغرب» ليصف وضع الأرض، فإنه يرتكب خطأ في التصور.

### ج - قيمة قوس الدرجة الواحدة

ويعارض ابن الهيثم بعد ذلك، على استخدام بطليموس لمقدار أكبر وأصغر من مقدار آخر في آن واحد لقياس البرهان على أنه مساو للمقدار عينه. كان من الممكن أن يسمح ابن

---

(٩) سوف أستخدم نشرة القاهرة لهذا الكتاب. توجد ترجمة تهيئية لهذا النص باللغة الإنكليزية، قام بها دان فوس (Dan Voss) على شكل أطروحة في جامعة شيكاغو تحت إشراف نويل سوردلو (Noel Swerdlow) (غير منشورة).

الهيم بطليموس أن يقول، في هذا الموضع بالذات، إن مقدار قوس الدرجة الواحدة مساو لذلك المقدار بالتقريب، أي أنه يختلف عنه بقيمة صغيرة، بدلاً من أن يقول إنه أصغر وأكبر منه في آن واحد.

### د - ميل فلك البروج

يعترض ابن الهيثم على الطريقة التي استخدمها بطليموس لتحديد ميل فلك البروج، إذ يقول بطليموس إنه رصد الشمس عند عبورها دائرة نصف النهار، فوجد أن الفرق بين ارتفاع الشمس الأقصى عندما تكون في الانقلاب الصيفي وارتفاعها الأدنى عند الانقلاب الشتوي مساو لـ  $47^\circ$  وأكثر من ثلثي درجة وأقل من نصف وربع درجة.

والسبب الذي من أجله اعترض ابن الهيثم على ذلك هو أن الشمس قد لا تكون على نقطة الانقلاب عند مرورها بدائرة نصف النهار لكان الرصد المقصود، وأن بطليموس يعرف ذلك جيداً. ولكنه قبل أن يأخذ قيمة تقريبية، حين كان عليه أن يبين كيفية تحديد هذا المقدار بشكل دقيق. زد على ذلك أن بطليموس كان يعلم أيضاً أن الشمس لن تعود إلى نفس النقطة على دائرة نصف النهار في عدد صحيح من الأيام خلال السنوات المقبلة. وبالرغم من ذلك قال إنه رصد الشمس وهي تمر بنقطة الانقلاب تلك سنة بعد سنة، وهذا لا يمكن أن يكون صحيحاً. ربما أن هناك مقادير عديدة يعتمد في تحديدها على رصد بطليموس هذا، يستخلص ابن الهيثم أنه لا يمكن الأخذ بأقوال بطليموس فيما يخص مقدار طول السنة الشمسية أو نقطة الانقلاب أو ميل فلك البروج أو نقطة الاعتدال.

والبرهان على أن بطليموس لم يحدد هذه المقادير حقاً هو ما وجده الفلكيون المحدثون من الاختلاف في أقدارها. فإنهم قد وجدوا الميل مختلفاً عما وجده بطليموس، ووجدوا أوج الشمس متحركاً في حين أن بطليموس كان قد وجده ثابتاً.

### هـ - نقطة المحاذاة

هذا الاعتراض هو نفسه الذي أشار إليه الأخوين بالإشكال السادس. ويحصل هذا الإشكال في هيئة بطليموس للقمر حيث يصار إلى تحديد أوج التدوير الأوسط ابتداءً من امتداد الخط المار بمركز فلك التدوير ونقطة المحاذاة التي تكون دائماً مقابلة لمركز الفلك الحامل في الجهة المقابلة من مركز العالم. فهذا الأوج، بالنسبة إلى ابن الهيثم، لا يكون نقطة خيالية فقط، بل لا يمكن أن يكون نقطة تتخذ مبدأ لقياس الحركة. لكن ما يقلق ابن الهيثم حقاً هو ما يشير إليه في السطور التالية:

«وقطر فلك التدوير هو خط متخيل، والخط المتخيل ليس يتحرك بذاته حركة محسوسة تحدث معنى موجوداً في العالم. وكذلك سطح فلك التدوير هو سطح متخيل، والسطح

المتخيل ليس يتحرك حركة محسوسة. وليس يتحرك حركة محسوسة تحدث معنى موجوداً في العالم إلا الجسم الموجود في العالم<sup>(١٠)</sup>.

بالإضافة إلى ذلك، وحتى لو قبلنا بوجود مثل هذا الخط الخيالي، وبالتالي بوجود الأوج الأوسط الذي يحدده، فإننا لا نستطيع تحليل حركة هذا الخط حسب أصول الحركة المسلم بها. وذلك لأنه يتحرك، كما يبدو، بحركة تأرجحية تحدث زوايا سلبية وإيجابية، في غضون نصف شهر قمري، دون أن يتم هذا الخط دورته. ولا تبدو أية حركة من هذه الحركات كأنها ناتجة عن دورات كاملة لأفلاك تتحرك حركات دورية مستوية كما هو مفروض.

وينهي ابن الهيثم هذا الفصل بوابل من الانتقادات، مستفيداً كل الأعداء التي يمكن أن يعلو بها بطليموس، ورافضاً في النهاية وجود خطوط أو أجسام تستطيع تحريك هذه الخطوط على ذلك المثال. «وإذا كان فرض جسم بهذه الصفة محالاً، فمحال أن يتحرك قطر فلك التدوير إلى محاذة النقطة المفروضة»<sup>(١١)</sup>.

إن المحاولات اللاحقة التي قام بها علماء الفلك الآخرون لتعديل هيئة بطليموس للقمر تشمل، بشكل أو بآخر، موقفاً معيناً من نقطة المحاذة هذه بالذات، وكانت تتحاشى غالباً استخدامها.

## و - حدود الكسوفات

يعترض ابن الهيثم في هذا القسم على أن بطليموس كان قد استخدم، على ما يبدو، طريقة تقريبية لتحديد حدود الكسوفات. والاعتراض الأساسي يدور حول استخدام بطليموس لقوس - مقلداه مسار لمجموع نصف قطري الشمس والقمر - قائمة على سطح مدار القمر وليس على منطقة فلك البروج كما كان يفضل ابن الهيثم. وهكذا يخلص ابن الهيثم إلى القول إن هذه الطريقة التي اختارها بطليموس لا تسمح له بحساب بدء الكسوف ولا توسطه ولا نهايته، «ففرضه هذين القوسين حين في الطول والعرض للكسوف هو غلط ظاهر لا شبهة فيه»<sup>(١٢)</sup>.

(١٠) ابن الهيثم، المصدر نفسه، ص ١٦.

(١١) المصدر نفسه، ص ١٩.

(١٢) المصدر نفسه، ص ٢٣. انظر: Pedersen, *A Survey of the Almagest*, pp. 277 ff.

وما يلي حول موضوع سوء التفسير في تحليل بطليموس لحدود الكسوفات الوارد في الفصل الخامس من المقالة السادسة من المجسطي.



### الصورة رقم (٣ - ٢)

كمال الدين الفارسي (ت حوالى سنة ١٣٢٠/٧٢٠)، تنقيح المناظر للوي الأبهار والبصائر  
(طهران، مخطوطة ميهسلار، ٥٥١).

يلخص الفارسي في هذا الكتاب بصورة تفصيلية كتاب المناظر لابن الهيثم ومقالات  
أخرى له. ومن بين الموضوعات المتعددة التي درسها ابن الهيثم في علم المناظر صورة  
الكسوف التي خصص لها مقالا مفصلا.

## ز - مسألة معدل المسير

هذا القسم هو، بدون أي شك، القسم الذي يورد فيه ابن الهيثم أهم انتقاداته على الإطلاق للهيئة البطلمية. فهو يدور حول الإشكال الوارد أعلاه تحت اسم الإشكال الرابع، والذي يفيد بكل بساطة أنه ليس يمكن لفلك أن يدور بحركة مستوية حول محور لا يمر بمركزه، كما كان بطليموس يفترض. ولكي يحكم تأليف انتقاده، يبين ابن الهيثم في البداية أن بطليموس كان في قضية معدل المسير على تمام المعرفة بأنه كان يخرق المبادئ الأساسية التي كان هو نفسه قد سلم بها.

وهكذا يبدأ ابن الهيثم بالرجوع إلى الفصل الثاني من المقالة التاسعة من المجسطي، حيث قرر بطليموس بشكل واضح أن الكواكب العليا تتحرك حركة دورية مستوية<sup>(١٣)</sup>، تماماً كما تتحرك الكواكب المذكورة سابقاً. ثم يقابل هذا النص بما ورد في الفصل الخامس من المقالة التاسعة من المجسطي حيث يقول بطليموس بكل وضوح إن في هيئة الكواكب العليا «وجدنا أيضاً مراكز أفلاك التداوير إنما تتحرك على دوائر مساوية للأفلاك الخارجة المراكز التي تكون بها الاختلافات، إلا أن هذه الدوائر ليست على مراكز واحدة بأعيانها»<sup>(١٤)</sup>. ويعود بطليموس لاحقاً، في الفصل السادس من المقالة التاسعة من المجسطي، ليسهب في وصف هيئة الكواكب العليا. وهناك، في ذلك الفصل، يحدد بطليموس «معدل المسير» (حسب الاستخدام الشائع أثناء القرون الوسطى اللاحقة) بأنه نقطة يدور فلك التدوير حولها في حركة مستوية (Uniforme). ويتابع بطليموس، في نفس الفصل، ويدون أي برهان، قوله بأن مركز الحامل يقسم بنصفين المسافة الواقعة بين مركز فلك البروج ومعدل المسير.

ولقد رد ابن الهيثم على ذلك قائلاً: «فهذا الذي ذكرناه هو حقيقة ما قرره بطليموس لحركات الكواكب الخمسة، وهو معنى يلزم منه تناقض»<sup>(١٥)</sup>. بنى ابن الهيثم برهانه لهذا التناقض كما يلي: (١) قبل بطليموس بمبدأ الحركة المستوية، (٢) بين بطليموس، في حالة الشمس، أن أي جسم يتحرك بحركة مستوية حول نقطة معينة، يتحرك بالضرورة بحركة غير مستوية حول أية نقطة أخرى، (٣) ناقض بطليموس نفسه عندما قال إن مركز فلك التدوير يتحرك بحركة مستوية حول مركز معدل المسير، لأن ذلك يعني أنه لا يتحرك بحركة مستوية حول مركز حامله، وهذا محال.

(١٣) النص الحرفي لعبارة بطليموس هو التالي: «وإذا كان قسداً أن نبين في الكواكب المتحركة الخمسة كما بينا في الشمس والقمر الاختلافات كلها التي نرى لها وإنما تكون عن حركات جارية على استواء واستدارة لأن هذه الحركات مشاكلة لطبيعة الأجرام الإلهية ومباينة للخروج عن النظام وعدم التشابه».

انظر: بطليموس، للمجسطي، الورقة ٥٢، و Ptolemaeus, *L'Almageste*, tome 2, p. 116.

(١٤) بطليموس، للمصدر نفسه، الورقة ٧٦. انظر أيضاً: Ptolemaeus, *Ibid.*, tome 2, p. 158.

(١٥) ابن الهيثم، للشكوك على بطليموس، ص ٢٦.

ولقد ذكر ابن الهيثم بوضوح تام، في تفاصيل رده على بطليموس، أن اعتراضه يستند في الحقيقة على أن هذه الحركات يفترض فيها أن تكون ناتجة عن حركات أجسام حقيقية، وأنها ليست حركات أجسام متخيلة، «لأن المحيط المتخيل لا يتحرك منفرداً حركة محسوسة»<sup>(١٦)</sup>. وأشار ابن الهيثم، بالإضافة إلى ذلك، إلى ملاحظة بدئية وهي أن الجسم الذي يفترض فيه أن يتحرك بحركة مستوية حول نقطة معينة، يجب أن يبقى دائماً على مسافة ثابتة من تلك النقطة. وإذا افترضنا أن الأجسام التي يصفها بطليموس هي أجسام طبيعية حقاً، فنعلمها لا يمكن أن يكون هناك فلك يتحرك بحركة مستوية حول محور لا يمر بمركزه.

ويستطرد ابن الهيثم في انتقاده لبطال هيثة عطارد، الواردة في الفصل التاسع من ناسعة المجسطي، لأن نفس التناقض كان يعترضها. وينتهي ابن الهيثم هذا الفصل بإثارة الشكوك حول الطريقة التي استخدمها بطليموس في تحقيق خروج مراكز الكواكب.

ويشهد ابن الهيثم، ليحكم رده بشكل قاطع، بقول بطليموس في الفصل الثاني من ناسعة المجسطي، الذي يثبت أن بطليموس نفسه قد أقر بأنه استخدم هيئات خارجة عن القياس. ولما كان بطليموس «قد اعترف أن فرضه الحركات على دوائر مجردة خارج عن القياس. فلذلك تكون الخطوط المجردة أخرى أن تكون حركاتها حول نقطة مفروضة خارجاً عن القياس. وإذا كان حركة قطر فلك التدوير حول المركز الأبعد خارجاً عن القياس، وكان فرض جسم يحرك هذا القطر حول هذا المركز خارجاً عن القياس لأنه متناقض للأصول، فالترتيب الذي رتب به بطليموس لحركات الكواكب الخمسة خارج عن القياس. وليس يمكن أن تكون حركة الكواكب التي هي دائمة ومتصلة وعلى ترتيب واحد لا تتغير ولا تنتقض خارجاً عن القياس. ولا يصبح أن تكون حركة منتظمة دائمة على ترتيب واحد لا يتغير إلا على أصول صحيحة واجبة بالقياس المطرد الذي لا شبهة فيه. فقد تبين من جميع ما ذكرناه أن الهيئة التي قررها بطليموس لحركات الكواكب الخمسة هي هيئة باطلة، وأن لحركات هذه الكواكب هيئة صحيحة بأجسام متحركة حركة مستوية دائمة متصلة لا يلزم منها محال، ولا يتداخلها شبهة هي غير الهيئة التي قررها بطليموس»<sup>(١٧)</sup>.

## ح - حركة العرض

يبدأ ابن الهيثم اعتراضه على نظرية بطليموس لحركة العرض بعد استشهد طويل، من الفصل الأول من المقالة الثالثة عشرة من المجسطي، يدور حول حركة الكواكب السفلى في العرض. ويتبع ذلك بإعادة صياغة كلام بطليموس، إلى أن يختص إلى القول: «وهذا محال

(١٦) المصدر نفسه، ص ٢٨.

(١٧) المصدر نفسه، ص ٣٣ - ٣٤.

فاحش مناقض لقوله فيما تقدم إن حركات السماء مستوية ومتصلة ودائمة، لأن هذه الحركة ليس يمكن أن تكون إلا بجسم يتحرك هذه الحركة لأن الحركات المحسوسة ليس تكون إلا للأجسام الموجودة<sup>(١٨)</sup>.

بالإضافة إلى ذلك، وبما أن حركتي السطحين المائلين اللذين ينطبق عليهما الحامل يتحركان باتجاهين متقابلين، يستنتج ابن الهيثم أن بطليموس كان قد ارتكب خطأ فادحاً بقبوله أن يكون لأي جسم ما طبيعتان مختلفتان، إذ إن هذا يدل على إمكانية اختلاف في تركيب الفلك، وهذا خارج عن القياس.

## ط - خاتمة

يختتم ابن الهيثم انتقاده لكتاب المجسطي بعرض طويل يسترجع فيه الأسباب التي حدثت لبطلميوس ليقول ما قاله. ويقر أن مثل هذه التناقضات قد يقع أحياناً في بعض المواضع نتيجة السهو الذي لا ينجو منه أي إنسان. ففي مثل هذه المواضع يكون عذر بطليموس مقبولاً. ولكن عندما يقع لبطلميوس في التناقض عمداً، لا يمكن أن نجد له عذراً. ويستشهد ابن الهيثم، لكي يثبت أن بطليموس كان يعتمد قبول هذه التناقضات، بالمقطع المشهور من الفصل الثاني من تاسعة المجسطي، حيث يقول بطليموس إنه اضطر إلى استخدام وسائل «خارجة عن القياس»، وأنه أجرى البرهان مستخدماً دوائر متخيلة. ثم يشير ابن الهيثم إلى المشكلة الرئيسية في هيئة لبطلميوس للكواكب العليا، التي تتمحور حول هذه النقطة بالذات، ألا وهي إجراء البرهان على حركات الكواكب بالرجوع إلى دوائر وخطوط متخيلة. ولكن عندما يُفترض وجود أجسام حقيقية فعلاً، عندها يبرز التناقض بشكل واضح جداً.

كذلك لا يقبل ابن الهيثم عذر معتذر لبطلميوس يقول إن تلك الهيئات جميعها متخيلة، وإنما لا تؤثر في الحركات الحقيقية للكواكب، لأنه، على رأي ابن الهيثم، لا يجوز أن تتوهم هيئات متناقضة لوصف حركات أجسام موجودة حقيقية. كذلك لا يمكن أن يعدل بطليموس حين يقول، في الفصل الثاني من تاسعة المجسطي، إنه قد توصل إلى وصف وافٍ لحركات الكواكب دون أن يتمكن من وصف الطريق التي توصل بها إلى ذلك، بل كان على بطليموس أن يقر أولاً أن الهيئة التي توهمها لم تكن صحيحة، وأنه لم يكن قد توصل إلى الهيئة الصحيحة. ولو فعل ذلك لأمكن ابن الهيثم أن يعذره.

وفي هذا الفصل ملخص لهيئة لبطلميوس للكواكب كما ارتأها ابن الهيثم، وهو عرض أمين للهيئات التي ورد ذكرها في المجسطي<sup>(١٩)</sup>. ثم يخلص إلى القول بأن بطليموس: «... جمع كل ما صح للمتقدمين وله من حركات كل واحد من الكواكب ثم

(١٨) المصدر نفسه، ص ٣٦.

(١٩) المصدر نفسه، ص ٣٩ - ٤١.



تطلب هيئة تصح أن توجد في أجسام موجودة تتحرك تلك الحركات، فلم يقدر على ذلك، ففرض هيئة متخيلة في دوائر وخطوط متخيلة تتحرك تلك الحركات؛ ويمكن في بعض تلك الحركات أن توجد في أجسام تتحرك تلك الحركات. فارتكبت هذه الطريقة اضطراراً، لأنه لم يقدر على غيرها. وليس إذا فرض الإنسان خطأً في تخيله وحركه في تخيله تحرك في السماء خط نظير لذلك الخط مثل تلك الحركة. ولا إذا تخيل الإنسان دائرة في السماء وتخيل الكوكب متحركاً على تلك الدائرة تحرك الكوكب على تلك الدائرة المتخيلة. وإذا كان ذلك كذلك، فالهينات التي فرضها بطليموس للكواكب الخمسة هي هيئة باطلة، وقررها على علم منه بأنها باطلة، لأنه لم يقدر على غيرها. وحركات الكواكب هيئة صحيحة في أجسام موجودة لم يقف عليها بطليموس ولا وصل إليها. لأنه ليس يصح أن توجد حركة محسوسة دائمة حافظة لنظام وترتيب إلا ولها هيئة صحيحة في أجسام موجودة<sup>(٢٠)</sup>.

## ٢ - الشكوك على «كتاب الاقتصاد»

يبدأ ابن الهيثم عرضه للشكوك التي أوردها على كتاب الاقتصاد بتعداد النقاط التي يختلف فيها هذا الكتاب عن كتاب المجسطي. فهو يورد مثلاً عدد الحركات المنسوبة إلى الكواكب في المجسطي، حيث بلغت ستاً وثلاثين، وعددها الوارد في كتاب الاقتصاد والبالغ ستاً وعشرين فقط.

يتعرض ابن الهيثم، بعد ذلك، إلى حركات أفلاك التدوير التي ذكرت في المقالة الأولى من كتاب الاقتصاد. وعندها يشير إلى نقص في هذا الكتاب لأن بطليموس لم يأت فيه على ذكر «الدوائر الصغيرة» التي وردت في المجسطي، والتي كانت تحمل أفلاك التدوير في العرض. كذلك لم يجد فيه شرحاً وافياً لحركات الكواكب في العرض<sup>(٢١)</sup>.

وهكذا يخلص إلى القول بأن كلام بطليموس في المقالة الأولى من كتاب الاقتصاد ليس هو فقط عرض لـ «هيئة فاسدة»، بل هو مناقض لما جاء في الأرصاد - خاصة فيما يتعلق بحركة عرض الكواكب - ولما جاء في كتاب المجسطي نفسه.

ويقترح بطليموس خلال تحليله لـ «علل» حركات الكواكب في المقالة الأولى من كتاب الاقتصاد، أن لكل كوكب من هذه الكواكب حركتين: حركة إرادية، وحركة قسرية «يضطر إليها»<sup>(٢٢)</sup>. كما يتابع في المقالة الثانية من كتاب الاقتصاد حيث يقول: «ولكل

(٢٠) المصدر نفسه، ص ٤١ - ٤٢.

(٢١) المصدر نفسه، ص ٤٣ - ٤٤.

(٢٢) انظر: Bernard Raphael Goldstein, «The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses*,» reproduction of the entire arabic manuscript, which contains the second part of book I, and a partial english translation, *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.), vol. 57, part 4 (1967), p. 26, lines 16 - 18.

حركة من هذه الحركات المختلفة في الكمية أو في النوع جسم يتحرك على أقطاب... ويكون ذلك فيها بلا قهر ولا ضرورة تلزمها من الخارج»<sup>(٢٣)</sup>.

أما ابن الهيثم فإنه يجد هاتين المقتولتين متناقضتين، إذ كيف يمكن لجسم أن يُجبر على الحركة شيئاً، بينما لا يكون خاضعاً لقسر خارجي في الجين الآخر؟

كذلك يهاجم ابن الهيثم بطليموس لأنه أخذ بفكرة استخدام المنشورات الكروية عوضاً عن الأفلاك، فيقول بأن المنشورات، بدلاً من أن تحل المسائل التي هي موضوع النقاش، تنطوي على نفس المساوئ التي انطوت عليها الأفلاك، وتضيف إليها مساوئ أخرى خاصة بها<sup>(٢٤)</sup>.

هذا يعود بابن الهيثم إلى نظرية حركات الكواكب السفلى في العرض، وإلى «الدوائر الصغيرة» التي افترض في المجسطي أنها تحرك أفلاك تداوير الكواكب السفلى على محورين متعامدين. هذه «الدوائر الصغيرة» لم يرد ذكرها في كتاب الاقتصاد. ويقول بشأنها ابن الهيثم: «إن تأوّل متأوّل فيها مثل ما تأوّل في القطرين الأولين لزم في كل واحد منهما محالان آخران مثل اللذين لزمّا في القطرين الأولين. وإن لم يتأوّل فيهما ذلك فلما أن يكون بطليموس غالطاً في أعمالهما، أو غالطاً في فرضهما في كتاب المجسطي»<sup>(٢٥)</sup>.

ويشكل مشابه، لم يتعرض بطليموس في كتاب الاقتصاد لمسألة تارجح مناطق الأفلاك المائلة للكواكب السفلى كما فعل في المجسطي.

زد على ذلك أن بطليموس، أثناء وصفه لأفلاك القمر، أهمل كلياً حركة نقطة المحاذاة التي كان قد ذكرها ضمن حركات القمر في المجسطي.

ويبدو بطليموس في نهاية المقالة الثانية من كتاب الاقتصاد وكأنه قد قُبِلَ فكرة إمكانية تحرك الكواكب بذاتها دون أن تكون بحاجة إلى جسم آخر يحركها. عندها يرد ابن الهيثم على بطليموس قائلاً إن ذلك يفترض وجود خلاء في السماء ليسمح للكوكب أن يفرغ مكاناً ليملاً مكاناً آخر. ثم يتبع ذلك برفضه لهذه الحركة لكونها حركة تدريجية. ويخلص إلى القول: «وإذ قد جَوّز بطليموس أن يكون الكوكب متحركاً بذاته من غير جسم يحركه، فقد بطل بهذا التجويز جميع المنشورات وجميع الأكر التي فرضها للكواكب»<sup>(٢٦)</sup>.

ويختم ابن الهيثم هذا الفصل من رده على كتاب الاقتصاد كما فعل في نهاية الفصل الذي رد فيه على للمجسطي قائلاً عن بطليموس:

---

(٢٣) ابن الهيثم، المصدر نفسه، ص ٤٥ - ٤٦.

(٢٤) المصدر نفسه، ص ٤٨ - ٤٩. انظر أيضاً ص ٦٠ حيث للفتاة بين أوضاع المنشورات والأفلاك.

(٢٥) المصدر نفسه، ص ٥٨.

(٢٦) المصدر نفسه، ص ٢٦.

«إما أن يكون رتب ما رتب من الأجسام وقرر ما قرره على علم منه بما يلزم فيها من المحالات أو على غير علم منه بذلك. فإن كان قرره على غير علم منه بما يلزم فيها من المحالات، فهو عاجز في صناعته، فاسد التصور لها والهيئات التي قررهما. وليس ينهم بطلميوس بذلك. وإن كان قرر ما قرره على علم منه بما يلزم فيه، وهذا القسم أخرى به، ويكون سببه أنه اضطر إليه لأنه لم يقدر على أجود منه، وقد ارتكب المحالات على علم منه بها، فقد غلط غلطين: أحدهما المعاني التي قررهما التي يلزم منها المحالات، والآخر ارتكاب الغلط على علم منه بأنه غلط. وعلى تصارييف الأحوال، والأشبه بالإنصاف، أن بطلميوس لو قدر على هيئة يقررهما للكواكب لا يلزم فيها شيء من المحالات لذكرها وقررهما، ولم يعدل عنها إلى ما قرره الذي يلزم منه المحالات الفاحشة، وإنما قنع بما قرره لأنه لم يقدر على أجود منه. والصحيح الذي لا شبهة فيه أن هيئات حركات الكواكب هيئات صحيحة موجودة مطردة لا يلزم فيها شيء من المحالات ولا من المناقضات، وهي غير الهيئات التي قررهما بطلميوس، وما وقف عليها بطلميوس ولا وصل فهمه إلى تحليل حقيقتها»<sup>(٢٧)</sup>.

ولا يكتفي ابن الهيثم بهذه الإدانة، بل يعود ليذكر القارئ مرة أخرى أن بطلميوس قد أهمل ذكر «الدوائر الصغيرة» في كتاب الاختصاص مع أنه كان قد استخدمها في المجسطي ليعمل حركة الكواكب في العرض. وعندئذ يحسد ابن الهيثم أن بطلميوس لم يفعل ذلك إما لأنه كان يعلم بالتناقضات التي قد يؤدي إليها استخدام هيئة المنشورات، أو أنه كان يود تخفي التعقيدات الإضافية التي تؤدي إليها الكرات التي كان يجب أن تضاف لو استخدم هيئة الأفلاك الثابتة. «فراى أن الإسك عن شرح هذه الحركة أولى من ارتكاب المحالات التي تلزم فيها»<sup>(٢٨)</sup>.

### ٣ - محتوى كتاب «الاستدراك [على بطلميوس]»

لا نعرف إلا القليل عن مؤلف هذا الكتاب وعن الكتاب نفسه الذي لم يعثر عليه حتى الآن. وكل المعلومات التي يمكن جمعها عن المؤلف موجودة في كتاب آخر له بعنوان كتاب الهيئة محفوظ حالياً في نسخة فريدة في مكتبة الجامعة العثمانية في حيدر آباد (الدكن - الهند). ومنها نستشف أن مؤلف كتاب الهيئة كان يقطن في إسبانيا في القرن الحادي عشر، فهو يتحدث مثلاً عن عالم الفلك الأندلسي الشهير بالزرقلي (الزرقالي) (المتوفى سنة ١٠٩٩م) كأحد أصدقائه. وقد أشار أيضاً إلى أنه قد أورد، في أحد مؤلفاته، وصفاً لآلة استعملت في الأرصاد التي أجريت في طليطلة، دون أن يشير إلى تاريخ تلك الأرصاد.

(٢٧) المصدر نفسه، ص ٦٣ - ٦٤.

(٢٨) المصدر نفسه، ص ٦٤.

ويقول مؤلف كتاب الهيثة إنه كان يجد بعض ما قاله بطليموس قابلاً للنقاش، ويضيف بشكل واضح أنه لا يود إقحام اعتراضاته الشخصية في هذا النص المبسط الذي هو بصدد كتابته، لأنه كان قد كرس لتلك الاعتراضات كتاباً خاصاً سماه كتاب الاستدراك [على بطليموس].

والأسلوب الذي أشار به إلى هذا الكتاب يظهر بوضوح تام الموضوع الذي اشتمل عليه الكتاب. فعندما يتكلم عن الخطأ الحادث بسبب الآلة التي نصبت في «مدينة طليطلة من بلاد الأندلس»، يقول: «في الآلة التي نصبها لها [أي للأرصاء] على ما أخبرني متولي الرصد بها أبو إسحق إبراهيم بن يحيى المعروف بالزرقيل» [ورقة ١٥ ط]. وفي الورقة ١٦ يقول الكاتب إنه قد ألف كتاباً سماه الاستدراك [على بطليموس]. ويقول عند بحثه لأوج الشمس إنه كان «في زمن خلافة المأمون على عشرين جزءاً ونحو ثلثي جزء من الجوزاء. وفي هذه الأشياء نظر من حقها أن تذكر في الاستدراك» [ورقة ٤١ ط].

ويقول المؤلف عند تعرضه لحركات القمر: «قد أعرض على بطليموس في هذه الحركات بأشياء من حقها أن تذكر فيما هو أبسط من هذا الكتاب، وسنذكرها في الاستدراك إن شاء الله عز وجل» [ورقة ٤٨ ط].

وأخيراً يقول في معرض كلامه عن أوج الكواكب: «ووجد بطليموس حركات هذه الأبعاد للكواكب الخمسة تنتقل في مدة مائة سنة جزءاً و[أحد] ١، وزعم المتأخرون أنها تقطع الجزء في نحو ست وستين سنة. وسنذكر حلة هذا الاختلاف في كتاب الاستدراك» [ورقة ٦٨ ط].

### خامساً: الهيئات البديلة لهيئات بطليموس للكواكب

يمثل الكتابان المذكوران أعلاه جميع ما نعرفه اليوم عن هذا النوع من الكتابات النقدية التي تعرض لها بطليموس. ولكن هذا لا يعني أن نطاق هذا النشاط النقدي كان ينحصر في هذين الكتابين، أو أن الكتابات النقدية الأخرى لم تلق تأثيراً يبلغ أهمية ما بلغه هذان الكتابان. فاعتماداً على المؤلفات التي كتبت خلال القرون اللاحقة والتي تم العثور عليها، نستطيع الجزم بأن الانتقادات التي أثارها ابن الهيثم كانت تؤخذ مأخذ الجدل من قبل علماء الفلك، وأن أكثر من عالم فلكي واحد حاول أن يجد هيئات بديلة لا تشوبها التناقضات التي تضمستها الهيئة البطلمية.

فإذا أخذنا فارقي الزمان والمكان بعين الاعتبار، يمكننا الآن أن نقسم الردود التي أثارها هذه الانتقادات - والتي كانت بمثابة هيئات بديلة لهيئات البطلمية - إلى مدرستين: المدرسة الأندلسية، والمدرسة الشرقية.

## ١ - المدرسة الأندلسية

لقد كان عالم الفلك المجهول الذي كتب الاستطوارك، بلا شك، رائد مدرسة لاحقة من الفلكيين الذين تابعوا أعماله كما أضافوا انتقاداتهم الخاصة بهم؛ وقد حاول هؤلاء، جميعهم، إعادة صياغة الهيئة البطلمية. فأسماء كل من جابر بن أفلح (المتوفى في أواسط القرن الثاني عشر)، والبطروجي (المتوفى حوالي ١١٩٠م)، وابن رشد (المتوفى سنة ١١٩٨م) ليست سوى أسماء عدد صغير من الذين تناولوا انتقاد الهيئة البطلمية في كتاباتهم التي جرت حولها بعض الدراسات<sup>(٢٩)</sup>.

فإذا أخذنا كتاب إصلاح المجسطي لجابر بن أفلح نراه يسهم بشكل رئيسي في هذا المضمار. وذلك أنه يسرد قائمة بحوالى عشر إلى خمس عشرة مسألة - يسميها جابر أخطاء - ويحاول فيها أن يقود القارئ خطوة خطوة إلى التحقق من الصعوبات والمشاكل التي يتضمنها نص بطليموس. فإحدى هذه المشاكل الرئيسية هي مثلاً تلك التي تتعلق بمسألة أبعاد الكواكب كما وردت في المجسطي وكتاب الاختصاص. فجابر يرى أن كوكب الزهرة على الأقل يجب أن يكون فوق الشمس إذا ما أخذت المعطيات العديدة نفسها التي أوردها بطليموس<sup>(٣٠)</sup>. وقد أكد جابر بن أفلح<sup>(٣١)</sup>، تبعاً لحساباته الخاصة، أنه يجب وضع الزهرة وعطارد معاً فوق الشمس.

إن الحجة الرئيسية التي وضع بموجبها جابر بن أفلح كلاً من الزهرة وعطارد فوق الشمس هي التالية: (١) يقر بطليموس أن زاوية اختلاف منظر الشمس تبلغ حوالى ثلاث

---

(٢٩) لم يحصل كتاب جابر بن أفلح على دراسة وإثبات حتى الآن. أما كتاب البطروجي فقد نشره:

Nūr al-Dīn Abū Ishāq al-Bīrūnī, *On the Principles of Astronomy*, an edition of the arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic - hebrew - english glossary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7, 2 vols. (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971).

وأما أعمال ابن رشد فقد حلت مع أعمال البطروجي أولاً من قبل: Léon Gauthier, *Ibn Rochd* (Averroës), les grands philosophes (Paris: Presses universitaires de France, 1948).

وحللت حديثاً من قبل: A. I. Sabra, «The Andalusian Revolt against Ptolemaic Astronomy: Averroës and al-Bīrūnī» in: Everett Mendelsohn, ed., *Transformation and Tradition in the Sciences: Essays in Honor of I. Bernard Cohen* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1984).

Noël M. Swerdlow, «Ptolemy's Theory of the Distances and Sizes of the Planets: A Study of the Scientific Foundations of Medieval Cosmology» (Doctoral Dissertation, Yale University, 1968) (University Microfilms International 69 - 8442).

Recurial, Manuscrits arabes (910), fols. 78<sup>v</sup> - 79<sup>r</sup>.

(٣١)

دقائق، بينما لا نرى على الإطلاق أي اختلاف منظر لكوكبي الزهرة وعطارد. وهذا لا يمكن أن يعني، بالنسبة إلى جابر بن أفلح، إلا أنهما أبعد من الشمس، وبالتالي فهما فوق الشمس حسب ترتيب الأفلاك السماوية. (٢) يأخذ جابر بن أفلح قيمتين أوردتهما بطليموس لنسبة نصف قطر فلك التدوير إلى نصف قطر فلك الحامل لكل من الزهرة وعطارد، ويثبت أننا لو تبيننا هاتين القيمتين لوجب أن نرى اختلاف منظر كل من الزهرة وعطارد يبلغ حوالي ست أو سبع دقائق، وهو تقريباً ضعف اختلاف منظر الشمس. ولكننا لا نرى شيئاً من ذلك، فيجب أن يكون هذان الكوكبان فوق الشمس.

وبعد أن يورد نص بطليموس الكامل المتعلق بالأبعاد النسبية للكواكب، يخلص جابر إلى القول: «إني لأعجب كل العجب من أمر هذا الرجل وأتخبر فيه حيرة عظيمة لما يظهر من تناقضه واضطراره وهو لا يشعر لذلك» [ورقة ٧٨<sup>ط</sup>].

ولما لم يكن ممكناً تحديد الأبعاد المطلقة للكواكب بشكل أكيد، فقد بقيت هذه القضية مجال جدل طيلة فترة القرون الوسطى، ولقد رجع إليها كل من البطروجي ومؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ١٢٦٦م) وغيرهما كما سنرى لاحقاً.

إن المشكلة الرئيسية التي تضمنتها الهيئة البطلمية، بالنسبة إلى البطروجي وابن الهيثم، هي أنها ليست أرسطية بشكل كافٍ. ولكن، خلافاً لابن الهيثم، الذي كان يرى أن الحركة على فلك خارج المركز ممكنة القبول من وجهة النظر الأرسطية، لم يقبل البطروجي بالفلك الخارج المركز ولا بفلك التدوير بالمعنى التقليدي الذي اعتمدته بطليموس. فاهتمام البطروجي الرئيسي كان ينصب على ضرورة وجود نقطة واحدة للعالم تدور حولها جميع النقاط الأخرى، وتكون ثابتة ومنطبقة على مركز الأرض. ويظن أن أول من دافع عن هذه النظرة الأرسطية الخالصة كان أستاذ البطروجي، ابن طفيل (المتوفى سنة ١١٨٥م)، الذي أعلن عن عزمه على كتابة مؤلف يعرض فيه هذه الهيئة، إلا أنه لم يفعل ذلك، على ما يبدو.

وقد تمت متابعة هذه المحاولات في كتاب الهيئة للبطروجي، الذي ألفه خصيصاً لتطوير تلك النظرية الفلكية، وفيما بعد في أعمال ابن رشد (خاصة في شرحه لكتاب أرسطو ما بعد الطبيعة) الذي اكتفى بعرض اعتراضاته بشكل وصفي فقط.

لقد بقي كل هذا النشاط محدوداً في تطبيقاته وفي مداه، وذلك لأن الهيئات الجديدة المقترحة - كالهيئة التي اقترحها البطروجي - لم تكن ناجحة حقاً في إعطاء النتائج البطلمية التحليلية والرصدية على الوجه المطلوب. لذلك كانت هناك حاجة حقيقية لإيجاد هيئات جديدة لا تنوِّها الشوائب التي ألّت بهيئة بطليموس، وتحافظ في آن واحد على النتائج الرصدية البطلمية الصحيحة، وتفسر الظواهر نفسها التي فسرتها هيئات بطليموس للكواكب.

لقد أنجز التقدم الحقيقي في هذا المضمار في مشرق العالم الإسلامي، حيث حصلت أجيال من علماء الفلك، ابتداءً من القرن الحادي عشر وحتى ما بعد القرن الرابع عشر،

على عدد من النتائج. وقد بدأت هذه النتائج أولاً، بتحديد المشاكل الرئيسية في الهيئة البطلمية، وبحل هذه المشاكل بعد ذلك بأساليب تقنية جديدة ملائمة للمبادئ الأولى الأرسطية للكون.

## ٢ - المدرسة المشرقية

المدرسة المشرقية المعنية هنا هي المعروفة في الدراسات الحديثة باسم «مدرسة مراغة»<sup>(٣٢)</sup>، وذلك لأن الفلكيين المعروفين اللذين تضمنت أعمالهم هيئات غير بطلمية قد عملوا جميعاً، سوى واحد منهم، في وقت من الأوقات وبشكل أو بآخر في مرصد مراغة (في الشمال الغربي من إيران حالياً) خلال النصف الأخير من القرن الثالث عشر. إن ما نعرفه حول هذا النشاط قد ازداد اليوم عما كان عليه سابقاً. فنحن نعرف أن هذا النشاط لم يكن مقتصرأ على أجواء مرصد مراغة، ولا منحصرأ في غضون القرن الثالث عشر. لذلك اخترنا عبارة «المدرسة المشرقية» لتقابل بها ما كان يجري في هذه المنطقة المشرقية من العالم الإسلامي بما كان يجري في الأندلس والذي أشير إليه بـ «الثورة الأندلسية».

لحسن الحظ أن نشاطات المدرسة المشرقية تتسم بشيء من التناسق والترابط. لذلك يمكن القول بأنها تنتمي إلى تقليد واحد. فموقف علماء الفلك في هذه المدرسة من أرسطو ومن علم الكون الأرسطي كان يختلف تماماً عن موقف زملائهم الغربيين في الأندلس. فبينما كان علماء الفلك الأندلسيون يصبون اهتمامهم على عدم إمكانية وجود الأفلاك الخارجة المراكز وأفلاك التداوير، لأنها كانت تتعارض مع المبدأ الأرسطي القائل بوجود مركز للعالم تدور حوله جميع الحركات الدورية، كان علماء الفلك المشرقيون يعتبرون أن هذه المشكلة ليست في الحقيقة إلا مشكلة وهمية. وذلك، حسب كلام ابن الشاطر، إن: «... وجود أفلاك صفار كأفلاك التداوير غير محيطة بمركز العالم غير ممتنع في سوى الفلك التاسع، ويدل على ذلك أنه كما وجد في كل فلك كوكب، وفي الثامن كواكب كثيرة كرية كل واحد منها أعظم من بعض تداوير بعض الكواكب، والكوكب مخالف لجسم الفلك، فلا يمتنع وجود أفلاك تداوير ونحوها. ومن هنا يفهم أن الأفلاك فيها تركيب ماء، والبسيط المطلق هو التاسع، ولا يمكن أن يتصور فيه كوكب ولا غيره»<sup>(٣٣)</sup>.

ويعبر ابن الشاطر فيما بعد عن هذا الرأي عندما يقول عن الفلكيين: «اختلفوا في حركات الأفلاك الصفار غير المحيطة بمركز العالم كفلك التداوير ونحوه، فاجمعوا على جواز

(٣٢) انظر مثلاً: Edward Stewart Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences* (Beirut: American University of Beirut, 1983), *passim*.

(٣٣) ابن الشاطر، نهاية السؤل في تصحيح الأصول (خطوة مكتبة بولدين، مارس، ١٣٩)، الورقة ٤<sup>أ</sup>.

حركاتها إلى أي جهة فرضت، مستدلين بأن لفلك التدوير نصفاً أعلى ونصفاً [المخطوط: نصفاً] أسفل، فإن تحرك في أعلاه إلى التوالي تحرك في أسفله إلى خلاف التوالي، وعكسه. فلا تكون حركته قسرية ولا عرضية بل طبيعية. وأجمعوا على جواز التدوير في غير الفلك التاسع لوجود ما نراه من الكواكب في الأفلاك. فإن الكوكب في الفلك يدل على تركيب ما. ومن قال بأن الأفلاك بسائط يمتنع وجود التدوير فيها وإن يكن ثم حركة على غير المركز فليست هي بسيطة، قلت قد تعين وجود التدوير وحركاتها. فإن امتنع ذلك ببرهان قطعي، ثبت تركيب الأفلاك وعدم البساطة فيها. وعندي أنها مركبة من بسائط لا من العناصر، خلا التاسع، والله أعلم بالصواب»<sup>(٣٤)</sup>.

فالمشكلة بالنسبة إلى المدرسة المشرقية كانت مشكلة استنباط هيئات تلام مع الأرصاد البطلمية، وتفسير الظواهر، وتكون متماسكة من وجهتي النظر الرياضية والفيزيائية. وهذا يعني أن اهتمامهم كان ينصب حول إيجاد هيئات يستطيعون بواسطتها أن يصفوا حركات الأفلاك، التي تحمل الكواكب المختلفة، بتعابير هندسية رياضية دون أن تتعارض الفرضيات الرياضية مع المعطيات الفيزيائية.

فالإنحياز العام للبحوث، التي قامت بها المدرسة المشرقية، يوصف عادة في الدراسات الحديثة بأنه فلسفي، وذلك لأنه كان يقبل بجميع نتائج أرصاد بطليموس، وكان يشير فقط بعض الاعتراضات الفلسفية على هيئاته.

لقد أكدت في مكان آخر أن الهيئة التي ابتكرها ابن الشاطر للشمس هي الهيئة الوحيدة، حسب علمنا إلى الآن، التي تبدو وكأنها وضعت لاعتبارات فلسفية ورصدية في آن واحد<sup>(٣٥)</sup>. وقد أسهبت في ذلك المقال بالبحث حول موقف ابن الشاطر من الأرصاد عامة، وأكدت أن المنحى الذي نحاها في توهم هيئة للشمس يرتكز على الأرصاد التي قام هو بها وأنه لم يكن نتيجة لاعتبارات فلسفية فقط، إذ لم يكن هناك أي اعتراض فلسفي على الهيئة البطلمية للشمس كما رأينا. وفي الواقع، إنني لا أعرف فلكياً آخر أقام أي اعتراض على هيئة الشمس البطلمية، أو أي هيئة بديلة عنها.

ولكي أستعرض جميع نشاطات المدرسة المشرقية، سوف أفرد البحث في هيئة ابن الشاطر للشمس، لأنها كانت حقاً فريدة من نوعها ولأنها كانت الهيئة البديلة الوحيدة للشمس. سوف أرسى الأسس التي قام عليها اعتراضه على هيئة بطليموس للشمس وأتبع ذلك بعرض مقتضب لهيئة ابن الشاطر نفسها. وتوخياً لعدم الإطالة والتكرار، سوف أتلو

<sup>(٣٤)</sup> المصدر نفسه، الورقة ١٠.

George Saliba, «Theory and Observation in Islamic Astronomy: The Work of Ibn al-Shāfir of Damascus (d. 1375)» *Journal for the History of Astronomy*, vol. 18 (1987), pp. 35 - 43.



ذلك بالهيات التي اقترحت للكواكب الأخرى، الواحدة تلو الثانية، متبعاً في ذلك التسلسل التاريخي لجميع الهيات التي اقترحت لكل كوكب على حدة.

## أ - هيئة الشمس لابن الشاطر

لقد اقترح بطليموس هيئتين للشمس (الشكل رقم (٣ - ١)): هيئة تتضمن فلکاً خارج المركز وأخرى تتضمن فلک التدوير. وكانت هاتان الهيئتان مقبولتين من وجهة النظر الفلسفية، لأنهما مكتتا حقاً من وصف حركة الأجسام الطبيعية. ولكن بسبب اعتراضات أخرى لهيئة الشمس كان بطليموس يرى مثلاً أن قطر الشمس المرئي هو دوماً ثابت، وقدره 20, 31, 0 درجة، في جميع أبعاد الشمس. وهو بالتالي مساوٍ لقطر القمر المرئي عندما يكون القمر في أبعد أبعاده من الأرض. وبالطبع، فإن هذا الافتراض يعني أولاً أن خروج مركز فلک الشمس، في أفضل حالاته، ذو تأثير لا يعتد به على القطر المرئي للشمس، وهذا ما هو صحيح بشكل تقريبي. وينفي ثانياً إمكانية حدوث الكسوفات الحلقيّة للشمس، وهذا ما يتعارض مع الأرصاد.

ليس لدينا للأسف النص الواضح الذي وصف فيه ابن الشاطر اعتراضاته على فرضيات بطليموس هذه. غير أننا نعرف مثلاً، من خلال ملاحظاته، الواردة في كتابه نهاية السؤل<sup>(٣٦)</sup>، أنه كان يسلم، خلافاً لبطليموس، بإمكانية حدوث الكسوفات الحلقيّة<sup>(٣٧)</sup>. ونحن نعلم أيضاً من نتائجه الرصدية التي أشار إليها فقط في نهاية السؤل أنه كان يعتبر، خلافاً لبطليموس أيضاً، أن قطر الشمس المرئي متغير. ويحيل ابن الشاطر القارئ إلى أحد كتبه الأخرى، وهو كتاب تعليق الأرصاد. والمفروض أن يكون قد حلل فيه هذه الأرصاد بالتفصيل. ولكن، مع الأسف، لم يثر حتى الآن على هذا الكتاب الذي يعتبر مفقوداً.

وقد أعطى ابن الشاطر، في موضعين مختلفين من النهاية<sup>(٣٨)</sup> قيمة قطر الشمس المرئي كما يلي:

5, 29, 0 درجة في الأوج

32, 32, 0 درجة في البعد الأوسط

55, 36, 0 درجة في الحضيض.

(٣٦) لقد أنجز كاتب هذه السطور تحقيقاً علمياً لنص ابن الشاطر هذا، وهو الآن في طور التجهيز للطبع. أما المراجع للثبته هنا فهي تيمد القارئ إلى: ابن السؤل، نهاية السؤل في تصحيح الأصول (خطوطة مكتبة بودلين، مارش، ١٣٩).

(٣٧) المصدر نفسه، الورقة ٢٨.

(٣٨) المصدر نفسه، الورقتان ١٢<sup>هـ</sup> و ٤١<sup>هـ</sup>.

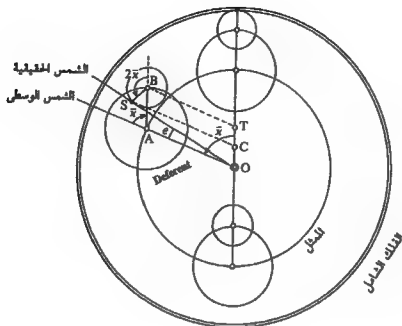
وهذا يدل، دون أدنى شك، على أنه كان يعود إلى الأرصاد التي قام هو بها، كما كان هو بنفسه يشير في أكثر من عبارة مثل: «تقرر بالرصد»، و«حققت ذلك بالرصد».

ويقول ابن الشاطر في سياق آخر<sup>(٣٩)</sup>، إنه رصد الشمس في منتصف الفصول فوجد أن التعديل الأقصى للشمس، الذي يتوقف على مقدار خروج المركز، يختلف عن الذي يمليه بطليموس. والتعديل الأقصى عند ابن الشاطر هو 2, 6 درجة، وذلك يوجب أن يكون مقدار خروج المركز يعادل 7, 2؛ عوضاً عن 30, 2 جزء المقدار الذي أعطاه بطليموس.

وبما أننا لا نعرف تفاصيل الطرق التي اتبعها ابن الشاطر في رصده، فإننا نفضل الامتناع هنا عن التعليق على إمكانية صدق هذه البيانات أو على مدى صحتها. ولكن نستطيع أن نقول ببساطة إن ابن الشاطر تمكن من إقناع نفسه بأن النتائج التي توصل إليها كانت حقاً أدق من تلك التي توصل إليها بطليموس، وأن عليه بالتالي أن يجد هيئة تتلاءم مع هذه النتائج التي كانت متعارضة مع الهيئة البطلمية. فقد كان عليه إذن أن يجد هيئة يكون خروج المركز فيها أقل مما كان عليه في هيئة بطليموس، لكي يؤدي إلى تعديل أقصى أقل. ولكنها يجب أن تسمح للشمس في نفس الوقت أن تقترب كثيراً من الأرض لكي يبدو قطرها على زاوية قدرها 36, 55, 0 درجة، وأن تبتعد أكثر عن الأرض ليبدو قطرها على زاوية 29, 5, 0 درجة. فيجب أن تكون لنسبة القدر الأعظم إلى القدر الأصغر القيمة الثمرية:  $1.26934 = 36, 55/0; 29, 5, 0$ .

ولكي يتم له ذلك يفترض ابن الشاطر وجود الأفلاك التالية لهيئة الشمس (الشكل رقم (٣-٢٩)): (١) الفلك الأول ويسمى الفلك الممثل، نصف قطره ستون جزءاً، ومركزه هو النقطة O مكان الراصد ومركز العالم. وهو يدور على توالي البروج بقدر حركة الشمس الوسطى اليومية وهي 32, 3, 57, 46, 9, 8, 59, 0 درجة في اليوم. ويمثل هذا الفلك فلكاً آخر (٢) يسمى الفلك الحامل، نصف قطره 37, 4 جزءاً من الأجزاء التي كان بها نصف قطر الفلك الأول ستين جزءاً. ويدور الفلك الثاني حول مركزه بمثل حركة الفلك الأول، ولكن بالاتجاه المعاكس، بحيث يبقى الخط AB دائماً موازياً للخط OCT وبحيث تكون النتيجة التي يحصل عليها هي عنها لو عوض عن خروج المركز OT بفلك تدوير مركزه A كما في الشكل رقم (٣-٩). أما الفلك الثالث (٣)، فيسمى المدير، ونصف قطره 30, 2 جزءاً. يديره الفلك الحامل باتجاه خلاف التوالي، بينما يتحرك حول مركزه بالاتجاه المعاكس (أي باتجاه التوالي) بحركة مساوية لضبط حركة الفلك الأول. ويمثل الفلك الثالث الشمس S التي تبدو الآن حسب قضية العرضي التي ستبحث لاحقاً، وكأنها تدور بحركة مستوية حول النقطة C. وأخيراً فلك رابع (٤) يسمى الفلك الشامل على جميع هذه الأفلاك ويدور على التوالي. بحركة أوج الشمس التي كانت تظهر بدرجة واحدة لكل ستين سنة فارسية.

(٣٩) المصدر نفسه، الورقة ٣٩.



الشكل رقم (٣ - ٩)

فتيجة لهذه الهيئة تتحرك الشمس S بحركة مستوية حول النقطة C، أي يكون خروج المركز OC مساوياً لـ  $7 - 2 = 30 - 2 = 37$ ؛ وهو أقل من خروج المركز الذي يعادل  $30 - 2 = 32$  عند بطليموس. وهذا ما يؤدي إلى أطوال مشابهة لتلك التي حصل عليها بطليموس، وهي التي تصحح لاحقاً بالتعديل الأعظم. ولكن، بخلاف هيئة بطليموس، تسمح هيئة ابن الشاطر لقطر الشمس المرئي أن يتغير بنسبة قدرها:

$$67; 7 / 52; 53 = 1.26914,$$

التي هي قريبة جداً من النتيجة التي تنبأت بها أرسباد قطر الشمس المرئي. ويضيف ابن الشاطر قائلاً إن للهيئة التي استنبطها فضيلة أخرى إضافية وهي أن جميع الحركات الوسطى تتم حول نقطة O التي هي مقام الراصد، وليس حول مركز الخارج كما هي الحال في الهيئة البطلمية.

### ب - هيئة أفلاك القمر

لقد رأينا سابقاً (الشكل رقم (٣ - ٢)) أن هيئة بطليموس للقمر تتضمن تناقضين أساسيين. التناقض الأول يكمن في حركة الفلك الحامل الذي يبدو وكأنه يرسم، حسب هيئة بطليموس، أقواساً متساوية في أزمان متساوية حول مركز العالم وليس حول مركزه،

وذلك محال. والتناقض الثاني يكمن في عدم وجود آلية تسمح لقطر فلک التدوير، الذي يصل بين الدروة الوسطى ومركز التدوير، أن يتصوب دائماً نحو نقطة المحاذاة عرضاً عن مركز الحامل.

والإصلاحات التي قام بها فلكيو القرن الثالث عشر للميلاد تضمنت، فيما تضمنت، عدة اقتراحات لهيئات بديلة عن هيئة بطليموس للقمر. وقد اقترح إحدى هذه الهيئات عالم الفلك الدمشقي مؤيد الدين المرصفي (المتوفى سنة ١٢٦٦م) في وقت ما قبل سنة ١٢٥٩م<sup>(٤١)</sup>.

### (١١) هيئة المرصفي للقمر

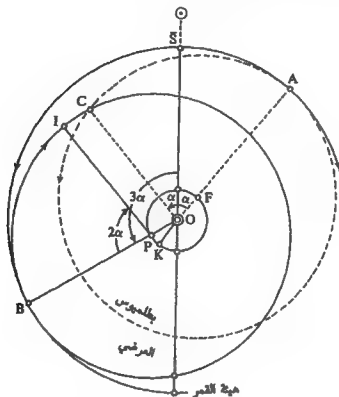
غير المرصفي، لكي يتجنب المحال الأول، اتجه بحركة الفلك المائل عند بطليموس، إذ جعله يتحرك، تبعاً لهيئته الجديدة، باتجاه تولي البروج عرضاً عن الاتجاه المعاكس. ويتنقل أوج الفلك الحامل، وفقاً لهذا الترتيب الجديد (الشكل رقم ٣ - ١٠)، باتجاه تولي البروج إلى النقطة B. ويفرض المرصفي أيضاً أن تكون حركة الفلك المائل المطلقة ثلاثة أضعاف الحركة المقروضة في الهيئة البطلمية. ولما كان مركز الفلك المائل موافقاً لمركز العالم، فذلك يعني أن الزاوية SOB مساوية لثلاثة أضعاف الزاوية SOA.

ولما كان الفلك الحامل يتحرك بحركة الفلك المائل باتجاه التولي، فإن الأوج الذي كان يعمل إلى النقطة A في هيئة بطليموس ينتقل الآن إلى النقطة B. يفرض المرصفي، بعد ذلك، أن الفلك الحامل نفسه يتحرك حول مركزه الذاتي P باتجاه خلاف التولي، بحركة مساوية لضعف الحركة المطلقة التي يفرضها بطليموس. وذلك يعني أن النقطة B تتراجع إلى النقطة I، ويصبح الخط PI موازياً للخط OC الذي هو الاتجاه الأصلي لمركز التدوير عند بطليموس بالنسبة إلى مقام الراصد على النقطة O. ويتحقق جميع هذه الحركات، التي أشير إليها حتى الآن، بحركات أفلاك تدور حول مراكزها الذاتية، فلا تناقض بالتالي مبادئ الحركة المستوية. هنا يشير المرصفي إلى أن هيئته تصف الحركات الوسطى فقط، تماماً كما تعمل هيئة بطليموس، وعليه، يجب أن يعتبر اتجاه الخط PI معادلاً لاتجاه الخط OC لأنه مواز له. وهكذا يمكن، في إطار هذه الهيئة، أن يتحرك مركز التدوير نحو نفس الموضع المفروض في هيئة بطليموس، دون أن يحصل التناقض الأول المذكور أعلاه.

(٤١) لتاريخ أعمال المرصفي، انظر: George Saliba, «The First Non - Ptolemaic Astronomy at the Maragha School», *Iris*, vol. 70, no. 254 (December 1979), pp. 571 - 576, and

مؤيد الدين المرصفي، تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين المرصفي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ - ١٢٦٦م): كتاب الهيئة، تحقيق وتقديم جورج صليبا، سلسلة تاريخ العلوم عند العرب؛ ٢ (بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، ١٩٩٠).

وتسمع الهيئة الجديدة كذلك بتجنب التناقض الثاني الخاص بنقطة المحاذاة، إذ يستطيع المرء أن يرى الآن أن الخط PI يمر بالنقطة K في الشكل رقم (٣ - ١٠) التي هي عادة قريبة جداً من النقطة N في الشكل رقم (٣ - ٢). وهكذا يبدو هذا الخط على النقطة I وكأنه أت من نقطة المحاذاة عند بطليموس N. فنتيجة لذلك تكون الذروة الوسطى، في هذه الهيئة، نقطة ثابتة هي نقطة التماس المشتركة بين فلك الحامل وفلك التدوير، وتقع بشكل طبيعي على طرف الخط الواصل بين مركزي الحامل والتدوير.



الشكل رقم (٣ - ١٠)

وهكذا استطاع العرضي، بتغييره لاتجاه الحركة وتعمليله لقيمتها، أن يحافظ على أرصاء بطليموس وأن يحصل على الحركات المتوقعة للقمر دون أن يتنازل عن المبادئ الطبيعية التي كان بطليموس نفسه يقبل بها. وكان العرضي يدرك تمام الإدراك أهمية الخطورة الكبرى التي حققها، والاختلاف الذي كان يفصل هيئته عن هيئة بطليموس. ولكنه لم يمر ذلك اهتماماً، بل كان ينصح القاريء بأن يأخذ أرصاء بطليموس فقط على أنها واقعة حقاً، وأن لا يأخذ بالطرق الرياضية - مثل اتجاه الحركة وكميتها - التي استخدمها بطليموس في تحليله لهذه الأرصاء. فهذه الطرق الرياضية، حسب رأي العرضي، ليست إلا حُدساً حدسه بطليموس، ولا يجب التقيد بها، لأنه ليس هو أولى بالحدس من غيره.

يعود العرضي بعد ذلك إلى مسألة الاختلاف بين هيئته وهيئة بطليموس، فيحسب الاختلاف في التعديل الذي يحصل نتيجة الاختلاف بين نقطتي المحاذاة في الهيئتين. ويصل، بعد نقاش طويل، إلى أن الفرق بين التعديلين لا يتعدى الدقيقتين والنصف. وهذا ما يعتبره العرضي مباحاً لأن بطليموس كان قد أباح لنفسه التساهل بأربع دقائق مبرراً ذلك بأن مثل هذا الفرق قد يفوت حتى الراصد الماهر. لذلك أحس العرضي بالارتياح للهيئة التي ابتدعها، وحث القاريء على القبول بها وعلى رفض هيئة بطليموس التي اتضح أنها نسيج من التناقضات.

إن البديل عن الهيئة التي أتى بها العرضي، يرتكز، حسب كلامه، على القبول بوجود أفلاك تتحرك حركات غير مستوية حول مراكزها: «وإن نحن سلمنا أن فلکاً يتحرك على مركزه فيبطيء تارة ويسرع أخرى، فلا حاجة بنا إلى شيء من جميع ما تكلفوه من أمر الهيئة. ويكون حاصل هذا الأمر إنما هو معرفة تعديل الحركات بواسطة تحليل أشياء باطلة»<sup>(٤١)</sup>.

## (٢) هيئة الطوسي للقمر

ناقش الطوسي هيئة بطليموس للقمر في الفصل السابع من الباب الثاني من أشهر كتاب له في علم الفلك وهو كتاب التذكرة في علم الهيئة. وقد أشار، عند وصوله إلى المواضيع الصعبة من ذلك الفصل، إلى أن هذه الهيئة تتضمن بعض المشاكل وأنه ينوي معالجتها فيما بعد. ولقد كرس في الواقع، بعد أن أنهى عرض الهيئات الخاصة بالكواكب العليا ويكوكب عطارد، فصلاً خاصاً لمعالجة معظم تلك المشاكل التي لاقاها إلى ذلك الحين. وتبين لنا فعالية الحطة التي اتبعها الطوسي عندما نرى أن الهيئة التي تبنّاها لحركات القمر كانت تشمل في نفس الوقت حلاً لحركات الكواكب العليا، وبالتالي فقد وضعها في آخر السياق ليعالج الهيئتين معاً في آن واحد.

إن المشكلة الأساسية في هيئة بطليموس للقمر، حسب فهم الطوسي لها، هي أن تلك الهيئة لا تسمح لمركز فلک التدوير بالاقتراب من مركز العالم وبالإبتعاد عنه دون إدخال الآلية التي استخدمها بطليموس. لنفرض أنه يمكننا بطريقة ما، أن نبقي مركز الفلك الحامل منطبقاً على مركز العالم، وأن نسمح للخط الواصل بين مركزي الفلك الحامل وفلك التدوير أن يقصر عندما يكون القمر في التربع وأن يطول في الاجتماع والاستقبال. عندئذ يمكن أن يتحرك الفلك الحامل بحركة مستوية حول مركزه، ويمكن في نفس الوقت تحليل الاختلافات الكبرى في التعديل الناتج عن قطر التدوير.

وإذا توهمنا المشكلة على هذا النحو، يمكن تلخيصها على أنها مشكلة إيجاد آلية تسمح

(٤١) انظر: العرضي، المصدر نفسه، ص ١٣٧.

لكمية متجهة بأن تقصر وتطول نتيجة لحركة دائرية فقط. وبكلام آخر، تحمل هذه المشكلة إذا أمكن وجود متجه يتأرجح طرفه إلى الأمام وإلى الوراء نتيجة لحركة دائرية مستوية. وهذه المشكلة هي نفسها التي أشرنا إليها سابقاً والتي واجهها بطليموس في تأرجح السطوح التي استخدمها في هيئة حركة الكواكب في العرض ما عدا القمر. ولقد اقترح الطوسي، في هذا السياق، آلية جديدة ورد وصفها في أحد كتبه الأخرى المشهور بتدوير المجسطي الذي ألفه سنة ١٢٤٧م. وقد استطاع بواسطتها أن يثبت أطراف الأقطار المتأرجحة على دائرتين متساويتين - وهما اللتان تم وصفهما فيما بعد بـ «مزدوجة الطوسي» - وجعل تلك الأطراف تتأرجح باتجاه خطي ناتج عن حركة دائرية. ولم يبق على الطوسي إلا أن يعمم ذلك الحل الذي اقترحه لحركة الكواكب في العرض لينطبق على المتطلبات الخاصة ببيئة القمر، وأن يطبقه بالتالي على هيئة الكواكب العليا.

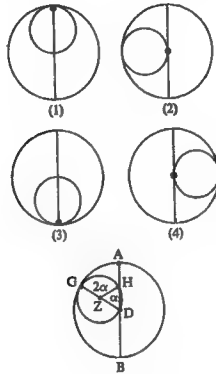
فلا عجب إذاً في أن يبدأ الطوسي الفصل الذي خصصه لعرض الهيئات البديلة ببسط النظرية التي سميت لاحقاً بـ «نظرية مزدوجة الطوسي» وإيراد البرهان عليها. جاء ذلك في الفصل الحادي عشر من الباب الثاني من كتاب التذكرة المشار إليه سابقاً.

لقد ورد ذكر هذه النظرية، في أول الأمر، في حالة خاصة هي حالة السطح المستوي، وعممت لاحقاً لتشمل سطح الكرة<sup>(٤٢)</sup>. ويمكن صياغة هذه النظرية، في حالة السطح المستوي، على الشكل التالي: لنأخذ دائرتين (الشكل رقم ٣ - ١١) بحيث تكون إحداها مماسة للأخرى من الداخل ويكون قطرها مساوياً لنصف قطر الدائرة الأخرى الشاملة للأولى. لنفرض أن الدائرة الصغيرة الداخلية تتحرك باتجاه مخالف لحركة الدائرة الشاملة، وبسرعة تكون ضعف سرعة الكبرى، ولنأخذ النقطة التي تكون أولاً على طرف قطر الدائرة الكبرى وعلى محيط الدائرة الصغرى، أي نقطة التماس. فإن هذه النقطة تتردد على طول قطر الدائرة الكبرى وبين طرفيه.

يشير الطوسي، بعد برهان هذه النتيجة، إلى أنه عوضاً عن هاتين الدائرتين يمكن أخذ كرتين يكون قطراهما ووضعهما بالنسبة إلى بعضهما البعض مساوياً لوضع الدائرتين المذكورتين. ولو صح ذلك لأمكن أن تكون ثخانة هاتين الكرتين كافية لاحتواء كرات أخرى مثل فلك تدوير القمر في هيئة بطليموس. وقد فرض الطوسي أن فلك تدوير القمر محوري ضمن كرتين عماليتين، وجعل المركز الأصلي للتدوير مطابقاً لنقطة التماس الأصلية. وهذا ما يسمح لمركز فلك تدوير القمر بأن يتردد على طول قطر الكرة الكبرى. وبالتالي لم يعد هناك حاجة للفلك الحامل الخارج المركز في هيئة بطليموس، ولا للآلية التي

(٤٢) لقد أصدر البارون كارا دو فو (Le Baron Carra de Vaux) ترجمة بالفرنسية لهذا الفصل المتضمن للقضية المذكورة، كما صمدت ترجمة للفصل نفسه بالإنكليزية ضمن: Faiz Jamil Ragep, «Cosmography in the Tadhkira of Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī» (Unpublished Doctoral Dissertation, Harvard University, Department of History of Sciences, 1982), pp. 95 ff.

أضافها، لأن استخدامها كان قد تم لتقريب فلك تدوير القمر من الأرض في حال التريبع ولإبعاده عنها في الاجتماع والاستقبال.

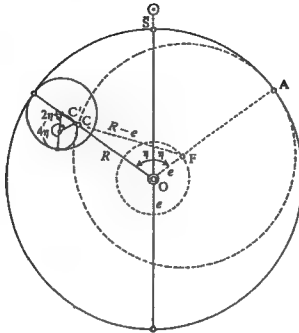


الشكل رقم (٣ - ١١)

ولو نسبنا إلى هاتين الكرتين حركات مماثلة لتلك التي وجدنا بطليموس بالرصد، لاستطاع المرء أن يجد هيئة (الشكل رقم ٣ - ١٢)) يتحرك فيها الفلك الحامل للقمر بحركة مستوية حول مركز العالم، وذلك لحل الإشكال الأول في هيئة بطليموس، ويقتررب فيها مركز التدوير من الأرض في حال التريبع ويتبعد عنها في الاستقبال والاجتماع ليؤدي، ولو بشكل تقريبي، إلى التمديلات القصوى التي رصدها بطليموس. وبالنسبة إلى نقطة المحاذاة، يستخدم الطوسي «مزوجة» كروية شبيهة بـ «المزوجة» المستوية، تمكن طرفي قطر التدوير من التردد باتجاهين مختلفين على قوس تعادل غايتها الاختلاف الأقصى الذي وجدته بطليموس.

ويبرهن الطوسي، بعد ذلك، أن مسار مركز فلك التدوير حول الأرض ليس بدائرة مع أنه يشبه الدائرة. ويعد التيقن من فوائد هذه «المزوجة» يعممها الطوسي ليحل بها إشكال هيئة الكواكب العليا، التي سيأتي ذكرها لاحقاً، ويستخدمها في هيئة الكواكب في العرض كما ألمحنا سابقاً.





الشكل رقم (٣ - ١٢)

### (٣) هيئة القمر لدى قطب الدين الشيرازي (المتوفى سنة ١٣١١م)

يبدأ الشيرازي مناقشة هيئة القمر في كتابه نهاية الإدراك<sup>(٤٣)</sup>، ورقة ٥٤<sup>٥</sup> وباستعراض عام للشروط التي تتضمنها هيئة بطليموس. ويخلص إلى القول بأن هيئة القمر البطلمية تصف بشكل جيد الظواهر الرصدية. وبعد أن يعطي قائمة مفصلة بالأرصاء التي تتطلب أفلاكاً في هيئة القمر يعود ويعطي عدد الأفلاك التي لا يمكن الاستغناء عنها في هذه الهيئة. ثم يكرس القسم التالي لحركات هذه الأفلاك المختلفة ولكيفية تركيبها كي ينتج عنها النتائج الرصدية المتعددة، وهو يعطي في كل حالة الحركات الوسطى لهذه الأفلاك. ويتنقل توطاً، بعد هذا الملخص إلى بحث الاختلافات التي يمكن رصدها بين حركات القمر الوسطى والحقيقية. ويعطي، في نفس هذا الفصل، مقادير المعادلات القصوى التي هي بدورها مثل مقادير الحركات الوسطى التي أعطاها بطليموس.

ويعود الشيرازي ويلخص، على الورقة ٦٠<sup>٦</sup> الاعتراضات التي أثارت حول الهيئة البطلمية التي ما كاد ينتهي من وصفها. وهو، في الواقع، يورد الاعتراضين المشهورين للبلدين أشير إليهما سابقاً، وهما المحال الناتج عن حركة الفلك الحامل الذي يدور حول

(٤٣) نستخدم في هذه الدراسة مخطوطة كوبرولو (Koprulu) رقم (٦٥٧) للورخ في العشرين من جمادى الأولى سنة ٦٨١ للهجرة الموافق لـ ٢٧ آب/ أغسطس ١٢٨٧، أي في الزمن الذي عاش فيه الشيرازي (المتوفى سنة ١٣١١).

مركزه الذاتي بينما يقطع أقواساً متساوية في أزمان متساوية حول مركز العالم، ومجال نقطة المحاذاة.

ويشير بعد ذلك سريعاً إلى إمكانية الرد على هذه الاعتراضات. فيقول إن أحد هذه الردود، الخاص بالاعتراض على حركة الحامل المستوية حول مركز العالم وليس حول مركزه الذاتي، هو ذلك الذي كان قد أورده في بحثه لـ «أصل الكبيرة والصغيرة» - وهذه إشارة واضحة إلى «مزوجة الطوسي». وإذا نظرنا إلى وصفه لهذا الأصل، وإلى كيفية استخدامه للرد على الاعتراض الذي أثير حول الهيئة البطلمية، بدا لنا بوضوح تام أنه كان يلخص فقط الحل الذي أورده الطوسي في الفصل الحادي عشر من الكتاب الثاني من التذكرة الذي أشير إليه سابقاً. وحتى المصطلحات التي تم استخدامها، هي نفسها تلك التي استخدمها الطوسي، بحيث يمكن القول إن الحل الذي أورده الشيرازي في ذلك الموضع من كتاب النهاية هو، على أحسن تقدير، إعادة لصياغة حل الطوسي.

ويقول الشيرازي عن الاعتراض الخاص بنقطة المحاذاة إنه «عمل نظري» ويؤكد أن حله صعب. ثم يقول، ويدون أن يستعيد نص الطوسي في هذا المضمار، إن الرد على هذا الاعتراض يمكن أن يتم باستخدام الأصل التاسع - مشيراً بذلك إلى أصل كان قد أورده سابقاً - الذي يسميه هنا «أصل الميل». من جهة أخرى، لا يقدم الشيرازي وصفاً كافياً لكيفية استخدام هذا الأصل لحل إشكال المحاذاة، خاصة وأنه قد طبق مبدئياً على حركات الكواكب في العرض. كذلك لا يظهر لنا بشكل واضح كيف استطاع الشيرازي أن يطبق هذا الأصل على هيئة الطوسي. ثم يتابع القول ويعترض إلى معطيات الهيئة البطلمية التي أوجبت فرض نقطة المحاذاة.

ثم يستشهد الشيرازي، دون أي إنذار، بنص مستفيض من كتاب الهيئة للعرضي، ويقدمه فقط بالعبارة التالية: «قال بعض أفاضل المتأخرين من أهل الصناعة هنا»<sup>(٤٤)</sup>. يلي ذلك شرح مفصل لهيئة العرضي للقمر، ويبدو أنها كانت الهيئة المفضلة لدى الشيرازي، لأنه ينتهي ذلك الفصل بما يلي: «وهذه هيئة أفلاك القمر وكمية حركاتها وكيفيتها على الوجه المختار المنفذ عنه جميع الإشكالات للطابق للأصول للوافق للأرصاء. وليس فيها إلا مخالفة الجمهور، ولا تضر إذا كانت بحق. فإن الحق حبيب والمعلم حبيب، والحق أحب»<sup>(٤٥)</sup>.

---

(٤٤) مخطوطة كوبرولو (Koprulu) رقم (٦٥٧)، الورقة ٦١هـ.

(٤٥) المصدر نفسه، الورقة ٦٦هـ، والجملتان الأخيرتان من هذا النص هي نفسها التي استشهد بها: العرضي، تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين العرضي (القرن ٦٦٤هـ - ١٢٦٦م): كتاب الهيئة، ص ١٣٦. انظر أيضاً ص ١١٨ من النص نفسه، حيث يقول العرضي أنه خالف جميع علماء الفلك في ما يتعلق بانحرافات حركات أفلاك القمر وكمياتها (مخالفتنا فيه جميع أصحاب علم الهيئة). وفي مقال لاحق، سوف يبين كاتب هذه السطور بشكل دقيق، ما يبين به الشيرازي للعرضي في ما يتعلق بهيئة القمر.



ما يسمح لمركز فلك التدوير B الواقع على منطقة هذا الفلك أن يقترب جداً من مركز فلك التدوير البطلمي القديم C، وأن يتحرك بحركة مستوية حول مركز العالم.

إن لهذه الهيئة الجديدة بعض الحسّنات. وذلك أن المرء يستطيع بواسطتها أن يثبت أن مركز التدوير الجديد يبدو وكأنه يتحرك بحركة مستوية حول مركز العالم O، بينما هو يدور في الواقع بحركة مستوية حول النقطة H التي هي مركز حامله الصغير الخاص به. والنقطة H تتحرك بدورها بحركة مستوية حول النقطة F التي هي أيضاً مركز الحامل الخاص بالنقطة H ومركز الفلك الخارج المركز الجديد الذي اقترحه الشيرازي. ولكي يثبت أن هذه العلاقة قائمة حقاً، يستخدم الشيرازي نظرية كان قد اقترحها أولاً مؤيد الدين العرضي. وسوف نأتي على ذكر هذه النظرية فيما يلي تحت اسم «قضية العرضي». لقد مكنت هذه الهيئة الجديدة من حل الإشكالات الأولى الذي أثير حول حركة الفلك المستوية في هيئة بطليموس والتي تتم حول مركز مغاير لمركز الفلك الخاص به.

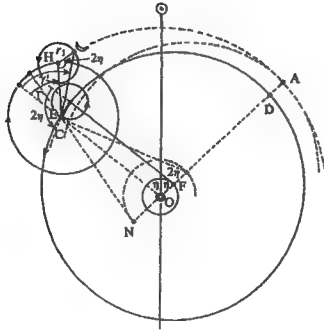
إلا أن هذه الهيئة لم تحل الإشكالات الثاني، وهو إشكالات نقطة المحاذاة. فقد بقي الشيرازي صامتاً بخصوص هذا الإشكالات، في الفصل العاشر من الصفحة، ثم رجع إليه في نهاية الفصل الثاني عشر من الكتاب نفسه. غير أنه لم يتمكن هناك أيضاً، على ما يبدو، من إيجاد حلٍ وافي لهذا الإشكالات الثاني. وهذا ما أكده العالم الفلكي اللاحق، عبيد الله بن مسعود بن عمر صدر الشريعة (المتوفى سنة ٧٤٧ للهجرة، الموافق سنة ١٣٤٦ - ١٣٤٧ للميلاد) الذي حاول أن يحل هذه المسألة بالذات في هيئة الشيرازي<sup>(٤٦)</sup>. وذلك أنه قال في معرض حديثه عن مؤلف كتاب التتحفة: «وأما المحاذاة، فقد أطنب فيه الكلام. والظاهر أنه لا طائل تحته. ومالك كلماته أن حركة الخارج وحدها كافية في اختلاف الضروريتين ولا شك أنه ليس كذلك»<sup>(٤٧)</sup>. إن العمل الموسوعي الذي قام به صدر الشريعة نفسه لم يدرس حتى الآن دراسة وافية، ولذلك لا نستطيع أن نحكم الآن بمدى نجاحه في تعديل هيئة الشيرازي. ويبدو أنه قد اقترح (انظر الشكل رقم ٣ - ١٤) إضافة فلك آخر - نصف قطره  $r_2$  - يقع على طرف نصف قطر فلك تدوير، نصف قطره الذاتي 52؛ 0 جزءاً بالأجزاء التي يكون بها نصف قطر الفلك المائل ستين جزءاً. ومن المفروض أن يدور

(٤٦) في ما يتعلق بهذا العالم الفلكي، انظر: Heinrich Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muhammed ibn Mūsā al-Khwarizmi in der Bearbeitung des Maslama ibn Ahmed al-Maḍrīḡi und der Ishaq*, Übersetzung des Athelhard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Björnho und R. Besthorn in Kopenhagen... hrsg und Kommentiert von H. Suter (Kobenhavn: A. F. Host and Son, 1914), p. 165, no. 404.

أما الكتاب الذي اعتمدناه في هذه الدراسة فهو كتاب التمهيد في الهيئة لصدر الشريعة المحفوظ حالياً في المتحف البريطاني، إضافي ٧٤٨٤، الورقة ٢٧ وما بعدها، وهو جزء من كتاب تمهيد العلوم للمؤلف نفسه.

(٤٧) المصدر نفسه.

هذا الفلك الإضافي بنفس الحركة التي يدور بها الفلك الحامل وينفس الاتجاه، أي بالاتجاه المخالف لاتجاه فلك التدوير. وهكذا يؤدي هذا الاتجاه الصغير إلى زيادة الاختلاف بمقدار يتناسب مع المعادلة الأولى في المواضع المتوسطة بين الاجتماع والاستقبال من جهة والتربيع من جهة أخرى، ويقيه على حاله، أي يكون ذا قيمة تعديلية تساوي الصفر، في مواضع الاجتماع والاستقبال والتربيع. ويسمح فلك التدوير الصغير هذا بزيادة نصف قطر فلك التدوير ليبدو أكبر أثناء التربيعات، وأصغر أثناء الاجتماع والاستقبال، وفقاً للأرصاء البطلمية.

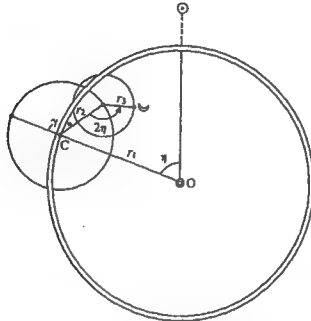


الشكل رقم (٣ - ١٤)

أما عالم الفلك المشيقي، ابن الشاطر (المتوفى سنة ١٣٧٥م)، الذي كان معاصراً لمصدر الشريعة، والذي كان أكثر منه شهرة وأكثر نجاحاً، فقد اقترح عدة هياكل جديدة لا تشوبها نفس الشوائب التي ألمّت بها الهيئة البطلمية، وكانت هذه الهياكل في بعض الأحيان قريبة جداً - بل حتى مطابقة كما في هيئة القمر هذه - للهيئة التي ارتأها كوبرنيكوس بعد قرنين من الزمن.

#### (٤) هيئة القمر لابن الشاطر<sup>(٤٨)</sup>

إن المنهج الذي سلكه ابن الشاطر في هيئة القمر، وفي هيئات الكواكب الأخرى يتمحور حول اهتمامه الدائب في الاستغناء المطلق عن الأفلاك الخارجية المراكز. ونتيجة لهذا المنهج، لم يقلل الآلية التي اقترحها بطليموس، لأنها السبب المستتب لتلك الإشكالات في الدرجة الأولى، على الرغم من أنها تسمح بتفسير الاختلاف الحاصل في معادلة القمر حين انتقاله من الاجتماع أو الاستقبال بالنسبة إلى الشمس إلى التربع معها.



الشكل رقم (٣ - ١٥)

وقد اقترح ابن الشاطر هيئة جديدة لحل إشكالات القمر. تشتمل هيئة القمر هذه (انظر الشكل رقم (٣ - ١٥)) المرسومة بنسب غير حقيقية، الأفلاك التالية:

- الفلك الممثل الموافق المركز بالنسبة إلى فلك البروج، والذي ينطبق مركزه بالطبع على مركز العالم O، نصف قطره تسعة وستون جزءاً<sup>(٤٩)</sup>.

(٤٨) انظر: Victor Roberts, «The Solar and Lunar Theory of Ibn al-Shatir: A Pre-Copernican Copernican Model», *Isis*, vol. 48, no. 154 (December 1957), pp. 428 - 432.

وخصوصاً ص ٤٣٠ - ٤٣٢ حيث يوجد عرض مختصر لهذه الهيئة.

(٤٩) في النسخة الأولى من كتاب نهاية السؤل في تصحيح الأصول حيث اقترح ابن الشاطر هيئة الجديدة للمرة الأولى، يساوي نصف قطر هذا الفلك ٦٧ جزءاً.

- الفلك المائل الذي يكون ميل منطقتيه بالنسبة الى منطقة الفلك المائل ثابتاً وقيمة ميله لا تتعدى خمس درجات. وينطبق مركز هذا الفلك مع مركز العالم O الذي هو أيضاً مركز الممثل، ويكون نصف قطره  $r_1$  ستين جزءاً. أما منطقة هذا الفلك فتقطع منطقة الفلك الممثل على نقطتين تسميان بالمعدتين. ونصف قطر السطح المقعر لهذا الفلك يبلغ واحداً وخمسين جزءاً<sup>(٥٠)</sup>.

- الفلك الثالث الذي يبلغ نصف قطره  $r_2 = 8, 16, 27$  (ثمانية أجزاء وست عشرة دقيقة وسبعاً وعشرين ثانية)<sup>(٥١)</sup> يفترض مغرقاً في الفلك المائل ويسمى كرة التدوير<sup>(٥٢)</sup>.

- والفلك الرابع الذي يبلغ نصف قطره  $r_3 = 1; 41, 27$  يفترض مغرقاً في فلك التدوير، ويسمى بالفلك المدير. أما القمر فيكون مغرقاً في الفلك المدير ونصف قطره يساوي  $0; 32, 54$  جزءاً.

ولما كان الفلك الرابع مغرقاً في الفلك الثالث، وكان نصف قطر القمر المغرق في الفلك الرابع مساوياً لـ  $0; 16, 27$  جزءاً، تحصل المقادير التالية عند تمثيل هذه الهيئة بالدوائر البسيطة: يكون نصف قطر الدائرة الثالثة  $35; 6$  جزءاً، ونصف قطر الدائرة الرابعة  $25; 1$  جزءاً، ويكون نصف قطر القمر  $0; 16, 27$  جزءاً.

أما حركات هذه الأفلاك فهي كما يلي:

- يتحرك الفلك الممثل حول مركز العالم باتجاه مخالف لتوالي البروج بسرعة تساوي سرعة المعدتين، وهي  $0; 3, 10, 38, 27$  درجة في اليوم. ولأن هذا الفلك يحمل جميع أفلاك القمر الباقية فهو طبعاً يحركها بحركته.

- يتحرك الفلك المائل حول مركز العالم كالفلك الأول، ولكن باتجاه تولي البروج، وبسرعة قدرها  $13; 13, 45, 39, 40$ ، وهي تعادل مجموع سرعة القمر الوسطى في الطول وسرعة المعدتين. نتيجة لذلك يتحرك مركز تدوير القمر باتجاه تولي البروج بحركة تعادل حركة القمر الوسطى في الطول، وهي  $13; 1, 13, 35, 10$ .

- أما الحركة الثالثة، وهي  $18, 53, 46, 13$  درجة في اليوم، فهي حركة فلك التدوير الذي يدور حول مركزه الخاص به، وهي باتجاه خلاف تولي البروج في القسم الأعلى من التدوير. وكانت هذه الحركة تسمى سابقاً حركة القمر الخاصة، وكان مبدؤها من ذروة التدوير المروية.

(٥٠) لم يرد هذا القياس في النسخة الأولى من نهاية السؤل في تصحيح الأصول.

(٥١) هذه المقادير أيضاً لم ترد في النسخة الأولى من نهاية السؤل في تصحيح الأصول.

(٥٢) يضيف في النسخة الأولى من نهاية السؤل في تصحيح الأصول ملاحظة مفادها أنه يجب ألا يخلط

بين فلك التدوير هذا وذلك الذي اشتهر بهذا الاسم لأنهما مختلفان.

- الحركة الرابعة، التي تحرك معها القمر على منطقة الفلك المائل، هي حركة المدبر، وهي حركة بسيطة باتجاه تولي البروج حول مركز المدبر ذاته، وتعاود 23، 22، 24 درجة في اليوم، وهذا ما يساوي أيضاً ضعف البعد بين موضعي القمر والشمس الأوسطين.

إن هذه الهيئة ترد على الإشكاليين اللذين أثيرا على هيئة بطليموس، لأنها تسمح بتعديل جميع الاختلافات المرصودة للقمر، بينما تكون تلك الحركات جميعها ناتجة عن حركات أفلاك حول مراكزها الخاصة بها. فعندما يكون القمر في حالة الاجتماع مع الشمس (الشكل رقم ٣ - ١٥)، تكون جميع المراكز على الخط المستقيم المار بمركز العالم وتلك النقطة المتوهم ثباتها من فلك البروج، أي نقطة الأوج. وعندما يتحرك الفلك المائل، باتجاه تولي البروج، يتحرك فلك التدوير بالاتجاه المعاكس. وهكذا تتلامح هاتان الحركتان مع ظاهرة بعد القمر وحركته الخاصة. أما ظاهرة التضاوت فيمكن تعديلها بحركة المدبر الذي يتحرك بضعف حركة الفلك المائل، ويعمل القمر إلى حضيض المدبر، أي باتجاه الأرض، وهو اتجاه الأوج عندما يكون القمر في الاجتماع مع الشمس، وإلى أوج المدبر عندما يكون القمر في التريبع مع الشمس. وهذا ما يسمح لتعديل القمر بأن يزداد من 10؛ 5، وهو القدر الذي رصده بطليموس أثناء الاجتماع (وهو 56؛ 4 حسب رصد ابن الشاطر)، إلى أن يبلغ غايته القصوى 40؛ 7 أثناء التريبع.

ولكن الأهم من ذلك هو أن هذه الهيئة تسمح لمسافة القمر من الأرض بأن تتغير بين حدي 10؛ 5، 1 جزءاً و50؛ 54 جزءاً عندما يكون القمر في الاجتماع والاستقبال، وبين 0؛ 8، 1 جزءاً و0؛ 52 جزءاً عندما يكون في التريبع، بنفس الأجزاء التي يكون بها نصف قطر الفلك المائل 60 جزءاً. لذلك تكون هذه الهيئة قد حققت تقدماً هائلاً بالنسبة إلى هيئة بطليموس. ففي هيئة بطليموس كان يسمح للقمر بأن يقترب من الأرض إلى أن يصل إلى 7؛ 34 جزءاً، مما يجعل القمر أثناء التريبعات يبدو للراصد على الأرض وكأنه ضعف حجمه أثناء الاجتماع والاستقبال. وذلك مخالف للرصد. إن هذه النتيجة هي التي أثارت، على الأرجح، اهتمام كوبرنيكوس بهيئة ابن الشاطر، لأنه استخدم نفس المقادير ونفس الهيئة في كتابه *De Revolutionibus*، بينما من ذكرها بشكل عابر في كتاب ابن الشاطر الذي كان يعرف حق المعرفة تفوق الهيئة التي ابتكرها<sup>(٥٣)</sup>.

### ج - هيئة الكواكب العليا

إن هيئة بطليموس للكواكب العليا، التي جاء وصفها سابقاً (الشكل رقم ٣ - ٢٣)، تتضمن إشكالاً واحداً أساسياً، وهو إشكال معدل المسير. وباختصار، فإن هذا الإشكال

(٥٣) ابن الشاطر، نهاية السؤل في تصحيح الأصول، الورقة ٣٠.



يحصل مبدئياً عندما يفترض أن هناك فلکاً يتحرك بحركة مستوية حول محور لا يمر بمركزه الخاص. وهذا يستحيل طبعاً إذا ما اعتبر الفلك جسماً طبعياً حقاً كما هو المفروض. وقد اقترح علماء الفلك العرب عدة هيات حاولوا بواسطتها أن يتحاشوا إشكال معدل المسير هذا الذي تضمنته هيئة بطليموس<sup>(٥٤)</sup>.

### (١) أبو عبيد الجوزجاني (المتوفى حول سنة ١٠٧٠م)

إن ما نعرفه حتى الآن هو أن أبا عبيد الجوزجاني، تلميذ ابن سينا ومعاونه، كان أول فلكي فيلسوف خلف لنا رسالة حاول فيها إصلاح هيئة بطليموس بتقديم حل لإشكال معدل المسير<sup>(٥٥)</sup>. وفي تلك الرسالة بنينا أن ابن سينا كان يدعي - كذباً على الأرجح - بأنه قد توصل هو أيضاً إلى حل ذلك الإشكال، ولكنه كان يأبى أن يجبر تلميذه به توخياً منه أن يمت الطالب على الوصول إلى ذلك الحل بنفسه. ويمزج من السخرية والظرف يتابع أبو عبيد كلامه قائلاً: «وأظن أني ما سبقت إلى معرفة هذه المسائل»<sup>(٥٦)</sup>.

نجد في الشكل رقم (٣ - ١٦) موجزاً لحل الجوزجاني لمسألة معدل المسير. ويظهر جلياً أنه كان يظن أن باستطاعته أن يستبدل فلك الحامل في هيئة بطليموس بفلك معدل المسير نفسه - الممثل هنا بخط متقطع - مما يؤدي إلى نقل حركة فلك التدوير من النقطة H على الفلك الحامل إلى النقطة B المحمولة الآن على فلك تدوير إضافي، نصف قطره  $\theta$  مساو لخروج مركز الكوكب عند بطليموس. فمن الحسنة الواضحة لهذه الهيئة أنها تسمح لفلك التدوير B أن يتحرك بحركة مستوية حول النقطة H، بينما تتحرك H نفسها بحركة مستوية أيضاً حول T، وتتلام مع متطلبات الحركة المستوية المفروضة. بالإضافة إلى ذلك، إذا جعلنا فلك التدوير الثانوي، الذي مركزه H، يتحرك بنفس حركة الفلك الحامل عند بطليموس، ولكن بالاتجاه المعاكس، عندها تبدو النقطة B مركز فلك تدوير الكوكب وكأنها تتحرك بحركة مستوية حول معدل المسير D. وهذا ما يتفق مع نتائج الأرصاد.

كان من الممكن أن يكون كل ذلك مقبولاً لو لم تكن المسافة بين النقطة B، مركز فلك تدوير الكوكب، وبين الراصد على نقطة Q هي أيضاً ناتجة عن الأرصاد، ولا يمكن تغييرها

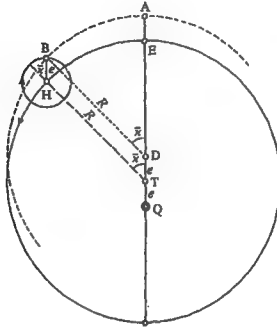
(٥٤) توجد دراسة شاملة لهذا الموضوع في: George Saliba, «Arabic Astronomy and Copernicus», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 1 (1984), pp. 73 - 87.

والباقي من هذا القسم مأخوذ بمعظمه من هذا المقال.

(٥٥) انظر: George Saliba, «Ibn Sina and Abū 'Ubayd al-Jūzjāni: The Problem of the Ptolemaic Equant», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 4, no. 2 (Fall 1980), pp. 376 - 403.

(٥٦) انظر: المصدر نفسه، ص ٣٨٠.

بسهولة. فالحسابات الطويلة والشاقة، الواردة في المقالة العاشرة من كتاب المجسطي، أقيمت خصيصاً من أجل تحديد الأبعاد النسبية في هيئة كل كوكب على حدة، وذلك لجعلها تتلاءم مع نتائج الأرصاد التي سعى بطليموس بعناء كبير إلى أن يحافظ عليها.



الشكل رقم (٣ - ١٦)

زد على ذلك أن هيئة الجوزجاني لو كانت قابلة للتطبيق لكان بطليموس أول من تبنّاها. وذلك لأنها تبدو فقط وكأنها تعوض عن الفلك الخارج المركز، أي الفلك الحامل، بفلك مطابق للمركز مضاف إلى فلك تدوير ثانوي. هذه المعادلة كانت معروفة جيداً لدى بطليموس. فهو الذي نسبها إلى أيولونيوس، في الفصل الأول من المقالة الثانية عشرة من المجسطي. وكان أيضاً قد استخدمها في الفصل الثالث من المقالة الثالثة، وفي الفصل السادس من المقالة الرابعة، من نفس الكتاب<sup>(٥٧)</sup>. فمن السلاجة أن يعتقد المرء، كما ظن الجوزجاني، أنه يستطيع حل المشاكل الرصدية المتصلة بمعدل المسير، بإبدال الفلك الخارج المركز بفلك التدوير.

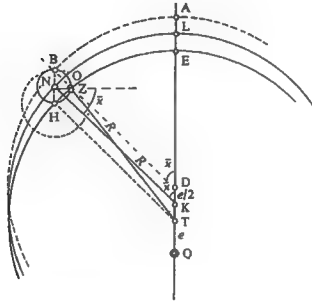
فالمشكلة إذاً ما زالت دون حل، وهي مشكلة إيجاد هيئة تحافظ في آن واحد على أبعاد

(٥٧) انظر: Neugebauer, «The Equivalence of Boccetric and Epicyclic Motion According to Apollonius», pp. 5 - 21.

الفلك الحامل عند بطليموس، وعلى تأثير معدل المسير، وتكون ناتجة عن حركات مستوية لأفلاك تدور حول مراكزها الخاصة بها.

## (٢) مؤيد الدين العرضي<sup>(٥٨)</sup>

المشكلة كما رآها العرضي تكمن في كيفية نقل النقطة B (الشكل رقم (٣ - ١٧)) في هيئة الجوزجاني لتقرب قدر المستطاع من نقطة Z، أو لتتطابق معها إذا أمكن، علماً بأن ذلك قد يتم باستخدام معادلة أبولونيوس التي ذكرناها سابقاً، والتي تسمح بنقل حركة تحصل على فلك خارج المركز إلى حركة على فلك تدوير محمول على فلك موافق للمركز.



الشكل رقم (٣ - ١٧)

وهذا لا يعني بالضرورة أن العرضي قد حاول مباشرة إصلاح هيئة الجوزجاني، لأنه لم يذكر الجوزجاني على الإطلاق، بل قد يعني أنه استخدم مباشرة معادلة أبولونيوس. ولكنه توصل إلى فكرة عبقرية وهي أن ليس عليه أن ينقل مقدار خروج المركز بكامله  $TD = BH$  إلى فلك التدوير الثانوي، بل أن ينقل مقدار  $KD = NB$  الذي هو نصف ذلك فقط. ولكي يتم له

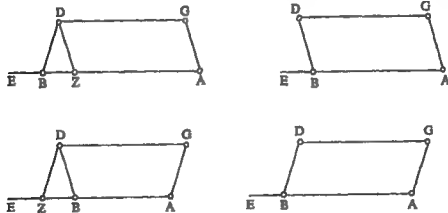
(٥٨) للاطلاع على أعمال هذا المؤلف للحققة، انظر: العرضي، تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ - ١٢٦٦م): كتاب الهيئة، و Saliba, «The First Non - Ptolemaic Astronomy at the Maragha School» pp. 571 - 576.

ذلك وليقترب قدر المستطاع من الفلك الحامل في هيئة بطليموس وجد العرضي أن عل فلك التدوير الصغير BOH أن يتحرك بنفس الاتجاه وبفس القدر الذي يتحرك به الفلك الحامل الجديد، ذو المركز K، الذي تنبأه العرضي لتوه. فمن الحركة المركبة من حركة الفلك الحامل الجديد، ذي المركز K، وحركة فلك التدوير الصغير ذي المركز N، يحدث مسار ترسمه النقطة O التي تبقى دوماً ملاصقة جداً لفلك الحامل عند بطليموس الذي هو BZH. وقد استخدم هذه الطريقة بشكل أو بآخر، بعد اكتشاف العرضي لها، جميع علماء الفلك اللاحقين الذين حاولوا إصلاح هيئة بطليموس.

وكان عل العرضي، لكي يُبقي على تأثير معدل السير، أن يبين أن المسار النهائي للنقطة O يظهر وكأنه يتم بحركة مستوية حول نقطة معدل السير D. فكان عليه أن يبرهن أن الخطين OD وNK يمتزان بفضل الشروط المفروضة - وهي أن تكون حركة الفلك الصغير مساوية قدرأ واتجاهأ لحركة الفلك الحامل المقترح - دائماً متوازيين.

ولكي يصل إلى ذلك الهدف، وضع العرضي المسألة عل شكل قضية تمهيدية عامة كما يلي: "إن كل خط مستقيم نقيم عليه خطين مستقيمين متساويين في جهة واحدة، فيصيران زاويتين من الزوايا التي تحدث مع الخط، إما الداخلة مع الخارجة، وإما الداخلتين اللتين في جهة واحدة، متساويتين، ثم يوصل بين طرفيهما بخط مستقيم، فإنه يكون موازياً للخط الذي قاما عليه"<sup>(٥٩)</sup>.

الشكل رقم (٣ - ١٨) مأخوذ من نص العرضي الذي يبين فيه أن الخط GD يكون

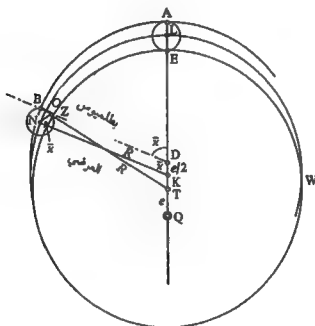


الشكل رقم (٣ - ١٨)

(٥٩) انظر: العرضي، المصدر نفسه، ص ٢٢٠ خصوصاً.

دائماً موازياً للخط  $AB$  في جميع الحالات التي يشكل فيها الخطان  $AG$  و  $BD$  زاويتين متساويتين مع الخط  $AB$ . فإذا فرضنا أن  $AG = BD$  يصبح البرهان فوراً إذا كانت الزاويتان الخارجة  $DBE$  والداخلية  $GAB$  متساويتين، أو إذا كانت الزاويتان الداخلتان  $DBA$  و  $GAB$  متساويتين. وذلك لأن رسم الخط  $DZ$  الموازي للخط  $AG$  يؤدي إلى تطابق كلتا الحالتين، فيتم البرهان عليهما باستخدام الأشكال من رقم ٢٧ إلى ٣٣ من المقالة الأولى من كتاب الأصول لإقليدس.

فبعد أن نبين أن الخط  $OD$  (الشكل رقم (٣ - ١٩)) يكون دائماً موازياً للخط  $NK$ ،



الشكل رقم (٣ - ١٩)

يمكن أخذ النقطة  $O$  لتكون مركزاً لفلك تدوير الكوكب، مما يؤدي إلى الاقتراب جداً من الشروط التي فرضها بطليموس. وكان المرصعي مدركاً تمام الإدراك أن المسار الذي تحدته النقطة  $O$  لا ينطبق تماماً على الفلك الحامل عند بطليموس إلا في الأوج  $B$  وفي الحضيض المقابل له. ويجدر بنا أن نستشهد بما قاله في هذا المضمار: «وأما مركز التدوير - أعني نقطة المماس للذكورة  $O$  في الشكل رقم (٣ - ١٩) - فقد يخال أنه عمول على الدائرة التي مركزها أقرب من النقطة التي عليها البصر من أجل أن مركز التدوير يكون على هذه الدائرة في بعديه المختلفين - أعني أعظم أبعاده من البصر وأقربها منه، وكونه قريباً من محيطها في باقي دورته جداً، فلذلك ظن بطليموس أن مركز التدوير لازم لمحيطها، وأنه

يرسمها بحركته<sup>(٦١)</sup>.

وبدلاً من أن يحسب العرضي الاختلاف بين المسار الناتج عن هيئته والفلك الحامل في هيئة بطليموس، الذي هو في الحقيقة صغير جداً<sup>(٦٢)</sup>، يفترض العرضي بكل ثقة أن الهيئة التي ارتأها هو هي الهيئة الصحيحة، وأن برهان عكس ذلك يقع على عاتق بطليموس لأنه هو الذي توهم خطأ أن المسار يتم على دائرة الفلك الحامل. وقد عبر ماستلين (Maestlin) عن نفس هذا الشعور عندما شرح هذه النقطة بالذات في هيئة كوبرنيكوس لتلميذه كبلر (Kepler) بعد مضي حوالي ثلاثة قرون: «لأن كوبرنيكوس يبين (V, 4) أن المسار ليس دائرياً تماماً... وأن بطليموس كان يتوهم أن مسار الكوكب... دائري حقاً»<sup>(٦٣)</sup>. ومن المهم أن نلاحظ أيضاً أن ماستلين قد برهن هو الآخر حالة خاصة من القضية التي صاغها ويرهنها العرضي، دون أن يشبها بشكل عام<sup>(٦٤)</sup>.

أما كوبرنيكوس فيورد نفس هذه القضية (V, 4) على النحو التالي: «وهكذا منبرهن أيضاً أن الكوكب، نتيجة لهذه الحركة المركبة لا يرسم دائرة تامة وفقاً لنظرية الرياضيين القدامى، بل خطاً منحنيًا لا يكاد يتميز عن الدائرة»<sup>(٦٥)</sup>.

هكذا نرى أن العرضي وكوبرنيكوس قبلا بهله الطريقة الجديدة التي يتم بها قسمة خروج المركز عند بطليموس إلى قسمين متساويين، لأنها سمحت لهما بأن يبقيا على فلك بطليموس الحامل، وأن يحتفظا بمفعول معدل المسير، كما سمحت لهما بوصف جميع الحركات الواردة في هيئتهما كحركات مستوية لأفلاك تدور حول مراكزها الخاصة بها، فتجنبنا بذلك التناقضات الظاهرة في هيئة بطليموس. ولكي نتفهم جيداً العلاقة بين هيئة العرضي وهيئة كوبرنيكوس للكواكب العليا، يجب أن نتحرى أولاً الهياكل التي استحدثتها، خلال الفترة الزمنية الفاصلة بينهما، كل من قطب الدين الشيرازي (المتوفى سنة

(٦٠) انظر: المصدر نفسه، ص ٢٢٢ - ٢٢٣.

(٦١) من أجل تحديد الاختلاف الأعظم بين علمين للساينس، انظر: Noël M. Swerdlow, «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary», *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 117, no. 6 (December 1973), pp. 423 - 512 and especially p. 469.

(٦٢) انظر: Anthony Grafton, «Michael Maestlin's Account of Copernican Planetary Theory», *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 117, no. 6 (December 1973), pp. 523 - 550 and especially p. 526.

(٦٣) انظر: المصدر نفسه، ص ٥٢٨.

(٦٤) انظر: Copernicus, *De Revolutionibus*, translated by Charles Glenn Wallis (Chicago, Ill.: [n. pb.], 1952), p. 743.

١٣١١م) وصدر الشريعة (المتوفى سنة ١٣٤٦/١٣٤٧م) وابن الشاطر الدمشقي (المتوفى سنة ١٣٧٥م).

لقد بينّا في مقال سابق أن الهيئة التي فضلها الشيرازي كانت مطابقة في الحقيقة لهيئة العرضي<sup>(٦٥)</sup>، وكانت هي أيضاً الهيئة المعتمدة لدى صدر الشريعة. وهكذا تكون هيئة العرضي كافية تماماً، بالنسبة إلى هذين الفلكيين، لحل التناقضات التي تضمنتها الهيئة البطلمية. أما بالنسبة إلى ابن الشاطر، فإن الاعتراض الأساسي كان يدور حول قضية الأفلاك الخارجية المراكز. وكما فعل في الهيئة التي ارتأها للقمر، فإنه تمكن هنا أيضاً من إيجاد هيئة تكون مراكز أفلاكها موافقة لمركز الأرض، وتتضمن هيئة العرضي، كما سنرى.

### (٣) هيئة ابن الشاطر للكواكب

سنورد فيما يلي النص القصير الكامل لهيئة ابن الشاطر لكوكب زحل. وذلك نظراً للأهمية التاريخية للهيئة التي ابتكرها ابن الشاطر، ولعلاقتها المحتملة بأعمال كوبرنيكوس. والنص مأخوذ من كتاب نهاية السؤل الذي قام بتحقيقه كاتب هذه السطور، والذي لم ينشر بعد. ولا يختلف هذا النص عن ذلك الذي يصف فيه ابن الشاطر هيئة كل من كواكب المشتري والمريخ والزهرة إلا في الأبعاد الحقيقية لكل منها. فالعلاقات العامة التي تعم جميع هيئات الكواكب العليا تم تلخيصها في الشكل رقم (٣ - ٢٠).

يبدأ الباب الثاني عشر، من كتاب نهاية السؤل لابن الشاطر، على النحو التالي:

«في هيئة أفلاك زحل على الوجه الصحيح. يتوهم من أفلاك زحل فلك مثل فلك البروج، في سطحه، حول مركزه، وعلى قطبيه [وهو غير مثبت في الشكل رقم (٣ - ٢٠) للتبسيط].

ويتوهم فلك ثانٍ [مثل بنصف القطر QH في الشكل رقم (٣ - ٢٠)] مائل عن المثل ميلاً ثابتاً، مقداره جزءان ونصف، مقاطع له على نقطتين متقابلتين، تسمى إحداها الرأس والأخرى الذنب.

ويتوهم فلك ثالث [مثل بالدائرة ذات المركز H في الشكل رقم (٣ - ٢٠)] مركزه على محيط المائل، ونصف قطره خمسة أجزاء وثمن جزء بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل [وهو R في الشكل رقم (٣ - ٢٠)] ستين جزءاً، ويسمى الحامل.

(٦٥) انظر: George Saliba, «The Original Source of Qutb al-Din al-Shirazi's Planetary Model», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 3, no. 1 (Spring 1979), pp. 3 - 18.





ضعف خروج المركز عند بطلميوس الذي هو 25; 3 جزءاً.

أما اتجاهات حركات الأفلاك المثبتة في الشكل رقم (٣ - ٢٠)، فهي، تبعاً للمقايير التي أثبتها ابن الشاطر، على النحو التالي:

يتحرك الفلك الأول بسرعة 0, 09, 52 درجة في اليوم باتجاه توالي البروج، وهو غير مثبت على الشكل رقم (٣ - ٢٠).

ويتحرك الفلك الثاني بسرعة 0, 2, 0, 26, 17 درجة في اليوم باتجاه توالي البروج، وهو ممثل بنصف القطر QH.

والفلك الثالث يتحرك بسرعة 0, 2, 0, 26, 17 درجة في اليوم بعكس توالي البروج، وهو ممثل بنصف القطر HN.

والفلك الرابع يتحرك بسرعة 0, 4, 0, 52, 34 درجة في اليوم، وهي ضعف سرعة الفلك الثاني، باتجاه التوالي، وهو ممثل بنصف القطر NO.

أما الفلك الخامس فيتحرك بسرعة 0, 57, 7, 43, 34, 22 درجة في اليوم باتجاه التوالي، وهو غير ممثل هنا.

يتبين بوضوح، من هذه العلاقات التي تنطبق أيضاً على الكواكب العليا الباقية، أن ما يسميه ابن الشاطر بالفلك الحامل، أي الدائرة ذات المركز H، يتحرك بمثل حركة الفلك المائل، الممثل بنصف القطر QH، ولكن بالاتجاه المعاكس. وهذا يعني عملياً أن قسماً من خروج المركز QK ينقل من المركز إلى المحيط، وذلك باستخدام نفس معادلة أبولونيوس المذكورة سابقاً، والتي استخدمها بطلميوس في الفصل الثالث من المقالة الثالثة من كتاب المجسطي. وهكذا فقد استطاع ابن الشاطر أن يحصل بذلك على هيئة موافقة لمركز الأرض حقاً، إذ أن نصف القطر QH يدور الآن حول مركز الأرض نفسها.

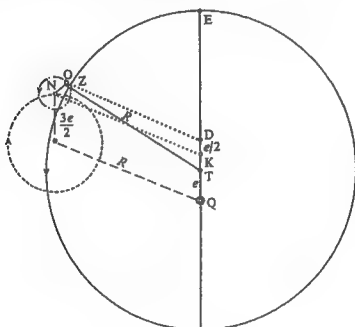
ولكي يعوض عن الباقي من خروج المركز، وليحتفظ بالفلك الحامل EZ في هيئة بطلميوس، يفترض ابن الشاطر أن فلك التدوير الصغير، ذا المركز N، يتحرك باتجاه معاكس لحركة الفلك الحامل ذي المركز H، بحيث تكون الزاوية HNO مساوية لـ  $2\alpha$ . وبما أن NH مساوي ومواز لـ QK، يكون الخطان NK وQH متساويين ومتوازيين. لذلك فإن الزاوية KNH مساوية لـ  $\alpha$  وهي بدورها مساوية للزاوية KNO.

ولكن العرضي كان قد أثبت سابقاً في القضية العامة (الشكل رقم (٣ - ١٨)) أنه إذا

كان الخطان DK و NO متساويين، وإذا شكل هذان الخطان زاويتين متساويتين مع الخط KN، فإن الخط OD الذي يصل بين طرفيهما يكون موازياً لـ KN، وتصبح النقطة O قريبة جداً من النقطة Z، على الفلك الحامل في هيئة بطليموس.

وهكذا فإن ابن الشاطر قد مزج، على ما يبدو، تيجتين اثنتين كانت البحوث السابقة قد استعملها له. فقد استخدم أولاً معادلة أبولونيوس لينقل مفعول الخروج عن المركز QK إلى المحيط HN، ثم استخدم النتيجة التي حصل عليها العرضي لجلب النقطة N قريباً من النقطة O بفضل القضية التي أثبتها العرضي. ولنا بحاجة لأن نتكهن فيما إذا كان ابن الشاطر على معرفة مباشرة بأعمال العرضي، لأنه يقول بوضوح إنه كان يعرفه، وكان يلموه على احتضانه بالأفلاك الخارجة المراكز.

والنتيجة النهائية تؤدي إلى فلك قريب جداً من الفلك الحامل عند بطليموس، وإلى هيئة موافقة لمرکز الأرض بدقة متناهية، وسالمة من التناقضات التي اعترت هيئة بطليموس. فالشكل رقم (٣ - ٢١) يبين العلاقة بين هيئة ابن الشاطر المرسومة بالخطوط



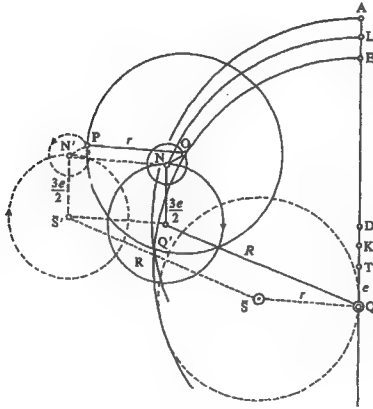
الشكل رقم (٣ - ٢١)

التقطعة وبين هيئة بطلميوس ذات الخطوط المتواصلة. وقد أضيف إلى الشكل الخطان التقاطعان KN و DO للتذكير بهيئة العرضي. وقد بالغت عمداً في تضخيم المسافة بين نقطتي O و Z، وذلك لأنه فقط على أنهما إجمالاً تقطعتا مختلفتان، لا لأدعي بأنه يمكن التصديق بينهما بأية نتيجة من النتائج الرصدية. ففي هيئة المريخ، الكوكب الأعظم خروجاً

من المركز، تبلغ قيمة الخط OZ مقدار 0.005 فقط إذا كان قدر نصف القطر 60 جزءاً<sup>(٦٦)</sup>.

#### (٤) ابن الشاطر وكوبرنيكوس

لقد طابقنا في الشكل رقم (٣ - ٢٢) بين هيئتي ابن الشاطر وكوبرنيكوس، معتمدين في رسم الهيئتين الأخيرة على ما جاء في كتابي كوبرنيكوس *Commentariolus*<sup>(٦٧)</sup> و *De Revolutionibus* (V,4). ولتسهيل الانتقال بين هيئة كوبرنيكوس المطابقة لمركز الشمس والمرسومة هنا بالخطوط المتقطعة، وهيئة ابن الشاطر المطابقة لمركز الأرض والمرسومة بالخطوط المتواصلة، فلقد أثبتنا الشمس الوسطى S في هيئة ابن الشاطر وأبقينا العلاقات



الشكل رقم (٣ - ٢٢)

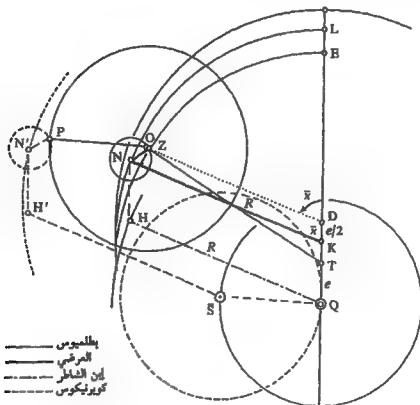
(٦٦) انظر: Sverdlow, «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory:» p. 469.

A Translation of the *Commentariolus* with Commentary,» p. 469.

(٦٧) انظر: المصدر نفسه، ص ٤٥٦ وما بعدها.

والحركات الأخرى على حالها. فإذا ثبتنا الشمس الوسطى  $S$  تمكنا من تحويل هيئة ابن الشاطر، بجميع أبعادها، إلى الهيئة التي تبناها كوبرنيكوس. ولما كنا نعرف أن جمع الاتجاهات إبدلي، فلا عجب أن تؤدي الهيئتان إلى نفس الموقع للكوكب  $P$ ، بصرف النظر عن كون الشمس الوسطى أو عن كون الأرض ثابتة.

وختاماً لهذا القسم، لقد رسمنا على الشكل رقم (٣ - ٢٣) الهيئات الأربع التي جئنا على ذكرها، وهي هيئات بطليموس والعرضي وابن الشاطر وكوبرنيكوس، وجعلناها متطابقة على نفس الفلك الحامل في هيئة بطليموس. لقد أهملنا هيئة الجوزجاني لأسباب بديعية. وكذلك فعلنا بيهيتي الشيرازي وصدر الشريعة لأنهما تبنيان هيئة العرضي. إن التكافؤ بين الهيئات التي استبقيناها واضح بجلء لأنها جميعها تنبئ بنفس الموقع للكوكب  $P$  دون أن تتضمن التناقضات الواردة في هيئة بطليموس.



الشكل رقم (٣ - ٢٣)

يمكن أن تكون العلاقة التاريخية بين العرضي ويطليموس قد مرت بمحاولة الجوزجاني الأولى. ولكنها قد تكون أيضاً نتيجة للاستخدام الناجح لمعادلة أبولونيوس على يد العرضي

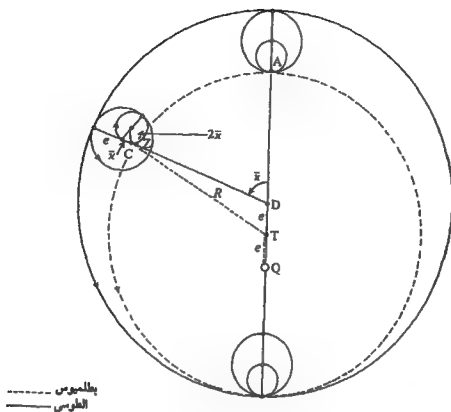
بعد تصنيفه لخروج المركز عند بطليموس. أما ابن الشاطر فقد أدرك جيداً أهمية هذه النتيجة التي تم الوصول إليها، فاستخدمها بالإضافة إلى معادلة أبولونيوس، ليحصل على هيئته الخاصة به. لقد رأينا أن ابن الشاطر كان على معرفة بأعمال العرضي، وأنه كان يلومه لاحتفاظه بالأفلاك الخارجة المراكز في هيئته. لذلك نستطيع أن نفهم لماذا لم يشعر بضرورة إقامة البرهان على توازي خطي OD وNK (الشكل رقم ٣ - ٧٣) لأن هذا البرهان كان قد أقيم في القضية العامة التي ساقها العرضي (الشكل رقم ٣ - ١٨). وكذلك لم يبرهن كوبرنيكوس على هذا التوازي، مما حدا بماستلين أن يبرهنه مجدداً وبشكل مفصل في رسالته الخاصة إلى كبلر<sup>(٦٨)</sup>.

أما مسألة العلاقة المباشرة بين كوبرنيكوس وسابقيه من علماء الفلك المسلمين، وبالأخص بينه وبين ابن الشاطر، فما زالت مسألة معلقة. ولن يتم البت بها بطريقة أو بأخرى إلا بعد القيام ببحوث إضافية. ولكنه من الواضح أن الهيئة المكافئة التي ابتكرها ابن الشاطر كانت تستند تاريخياً إلى النتائج العديدة التي توصل إليها العلماء المسلمون السابقون. ويمكن بالتالي تعليلها على أنها استكمال طبيعي تاريخي للأبحاث التي تمت خلال القرون الثلاثة السالفة. أما هيئة كوبرنيكوس فلا نستطيع وصفها بنفس الصفة. وما علينا إلا أن نكتب على دراسة المصادر العربية نفسها لنتمكن من فهم العلاقات بينها بشكل تام لأجل استخدامها في هذا المجال، وأن نكتب على دراسة المصادر البيزنطية، لكي نصل نهائياً إلى استشفاف العلاقة بين كوبرنيكوس وسابقيه من العلماء المسلمين.

## (٥) هيئة الطوسي للكواكب العليا

إذا أخذنا بعين الاعتبار علاقة هيئة الطوسي للكواكب العليا بهيئة كوبرنيكوس نجد أن هيئة الطوسي ترتبط بتقليد يختلف عن التقليد الذي ارتبطت به هيئة ابن الشاطر. وذلك أن الطوسي بدلاً من أن ينصف خروج المركز في هيئة بطليموس، حسب تقليد العرضي، يعمم هيئته الخاصة للقمر (الشكل رقم ٣ - ٢٤)، ويجعل «المزدوجة» تتحرك بحيث يقترب مركز فلك التدوير من معدل المسير عندما يكون فلك التدوير في أوج بطليموس، ويتبعد عنه عند انتقاله إلى الحضيض. أما «المزدوجة» نفسها فهي عمولة على فلك يطابق مركزه نقطة معدل المسير. ونتيجة لذلك تكون جميع الحركات مستوية حول مراكز الأفلاك الخاصة بها، ولا يتنج عنها أي تناقض من التناقضات التي تضمنتها الهيئة البطلمية.

(٦٨) انظر: «Michael Maestlin's Account of Copernican Planetary Theory», pp. 528 ff.



الشكل رقم (٣ - ٢٤)

### د - هيئات حركة عطارد

إن هيئة بطليموس لكوكب عطارد، التي جاء وصفها سابقاً (الشكل رقم (٣ - ٤))، تشبه إلى حد بعيد هيئة القمر. فهي تتضمن عملياً آلية شبيهة بتلك التي استخدمت في هيئة القمر، فنسمح للكوكب أن يقترب من الأرض في موضعين اثنين، بدلاً من موضع واحد، لتوافق الأرصاد التي أثبت فيها بطليموس بُعد الكوكب الأعظم من الشمس، والتي أدت إلى الاعتقاد بوجود حضيضين لعطارد. أما معدل المسير لكوكب عطارد، فهو مثبت الآن على الخط الواصل بين المراكز، بين مركز العالم ومركز الفلك الخارج المركز، عندما يكون قطر الفلك الخارج المركز باتجاه الأوج، بدلاً من أن يكون على ضعف البعد من مركز العالم كما كانت الحال في هيئة الكواكب العليا. وتتطلب هيئة عطارد، خلافاً لهيئة القمر، أن يتحرك الكوكب بحركة مستوية حول معدل المسير، وليس حول مركز العالم كما كانت الحال في هيئة القمر.

إن أول فلكي معروف قام باقتراح هيئة بديلة لهيئة عطارد، تزيل عنها التناقضات التي

ألمت بهيئة بطليموس، هو مؤيد الدين العرضي نفسه الذي تعرضنا لدراسة أعماله الخاصة  
بهيئة القمر وبهيئة الكواكب العليا.

### (١) هيئة العرضي لكوكب عطارد

يكسر العرضي فصلين مختلفين لمناقشة هيئة عطارد، بالإضافة إلى عدة ملاحظات أدلى  
بها أثناء دراسته لهيئات الكواكب الأخرى. فالفصل الرابع والأربعون<sup>(٦٩)</sup> يحتوي على عرض  
مباشر لأفلاك عطارد مرفق بملاحظات مقتضبة عن حركات تلك الأفلاك. ويستخدم  
العرضي الأرصاد الجديدة، كلما رأى ذلك مناسباً، ليصحح الهيئة التي عرضها  
بطليموس. ويذكر العرضي القاري، في أحد المقاطع، بقوله: «لا يحتاج إلى زيادة الشرط  
الذي قاله بطليموس في هذه الحركات بعد أن ثبت أن لأوج الشمس حركة مثل حركة  
أوج المدير الذي في الميزان».

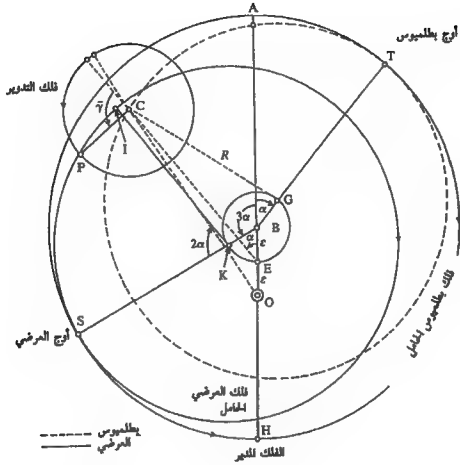
أما الفصل الثامن والأربعون<sup>(٧٠)</sup> فهو مكرس، كما يدل عنوانه وهو «في إصلاح هيئة  
عطارد»، لإعادة صياغة هيئة عطارد بحيث يتم حل الإشكاليين الوردتين حول هيئة  
بطليموس. وهذان الإشكالات هما كما هي الحال في هيئة القمر: (١) إشكال الفلك  
الحامل الذي يتحرك حول محور لا يمر بمركزه الخاص به، (٢) إشكال مركز معدل المسير  
الذي لا ينطبق على مركز الفلك الحامل ولا على المركز الذي يتحرك الفلك الحامل حوله  
بحركة مستوية.

يتحرك الفلك الحامل، في هيئة بطليموس (الشكل رقم ٣ - ٢٥)، بحركة الفلك  
المدير، وهي حركة مستوية حول المركز B بالاتجاه المخالف للتوالي، لينقل الأوج إلى نقطة  
T. أما الفلك الحامل نفسه فيتحرك بالاتجاه المعاكس حول مركزه الخاص به G، لينقل  
مركز فلك التدوير إلى النقطة C. ولكنه يبدو وكأنه يتحرك بحركة مستوية بالاتجاه المعاكس  
للتأرجح حركة المدير حول النقطة B التي هي مركز معدل المسير. وهذا ما يوجب أن يتحرك  
الفلك الحامل بحركة غير مستوية حول مركزه الخاص به G، مما يشكل خرقاً واضحاً لمبدأ  
الحركة المستوية.

يرد العرضي جواباً على ذلك بما يلي: «وهذا المجموع لزم عن عدة أمور: منها الرصد  
والبرهان الجيني على الرصد، والحركات الدورية، والهيئة التي حدسها [بطليموس]،  
وجهات الحركات. فأما الرصد والبرهان والحركات الدورية فلا يقدر في شيء منها، إذ لم  
يتبين أمر بخالفها».

---

(٦٩) انظر: العرضي، تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين العرضي (لقرن سنة ٦٦٤هـ - ١٢٦٦م):  
كتاب الهيئة، ص ٢٣٥ - ٢٣٨، الاستشهاد التالي يقع على ص ٢٣٧.  
(٧٠) المصدر نفسه، ص ٢٤٦ - ٢٥٧، والاستشهاد التالي يقع على ص ٢٥٠ - ٢٥١.



الشكل رقم (٣ - ٢٥)

فأما طريق الجلس فلم يكن هو [بطليموس] أولى به من غيره بعد أن تبين خطأه. فإن وجد غيره أمراً يوافق الأصول ويطلق ما وجد بالأرصاد في الحركات الجزئية للكوكب، كان أولى بإصابة الحق.

ولما تبين لنا فساد هذا الرأي، وطلبنا إصلاحه كما فعلنا ذلك في باقي الكواكب،



فراينا أنه يتم لنا إن قلبنا جهتي الحركتين المذكورتين - أعني حركة المدير وحركة الفلك الحامل. فتوهما حركة المدير إلى توالي البروج ثلاثة أمثال وسط الشمس، وحركة الحامل إلى خلاف التوالي ضعف وسط الشمس، فإن الحاصل لمركز التدوير إلى التوالي يكون مثل وسط الشمس. وعنده [أي عند بطليموس] أيضاً كذلك<sup>(٧٠)</sup>. [ورقة ١٦٧ ط من كتاب الهيئة].

فلذا رجعنا إلى الشكل رقم (٣ - ٢٥)، الذي نُسبُه غير حقيقية، وطابقنا هيئة العرضي على هيئة بطليموس، بنفس النسب، نرى أن هيئة العرضي تصف حركة كوكب عطارد بجعل حركة المدير مستوية، كما كانت الحال في حامل القمر عند بطليموس، باتجاه التوالي، حول المركز B، لكي ينقل الأوج إلى النقطة S. أما الفلك الحامل نفسه، فيتحرك أيضاً بحركة مستوية، ولكن بالاتجاه المعاكس، حول مركزه الخاص به K ليعيد مركز فلك التدوير إلى النقطة I. وهكذا تكون الحركة الناتجة لمركز فلك التدوير موازية لحركة مركز التدوير عند بطليموس وقريبة جداً منها، كما في الشكل رقم (٣ - ٢٥). أضف إلى ذلك أن هيئة العرضي تنسجم تماماً مع مبادئ الحركة المستوية وتكون قريبة جداً من نتائج الأرصاد، أو حسب قول العرضي: «طابق المتحصل منها المتحصل من هيئة بطليموس، ولم يختلفا بشيء له عظيم قدر، لكن يشيء يسير يفوت مثله على الراصد». ثم يتابع العرضي فيقول: «وكان مذهبتنا وطريقنا ليس عليها شك ولا يلزم عنها محال. فقد تبين ووضح أنها أتم وأكمل من غيرها»<sup>(٧١)</sup>.

أما عالم الفلك التالي الذي اقترح هيئة بديلة لكوكب عطارد فهو قطب الدين الشيرازي، تلميذ الطوسي. وذلك لأن الطوسي نفسه كان قد اعترف صراحة في كتاب التذكرة بأنه لم يتوصل بعد إلى وضع هيئة لعطارد، وأنه سوف يعود إلى صياغتها عندما يتم له توهم ذلك<sup>(٧٢)</sup>. والأبحاث التي جرت حتى الآن تفيد بأنه لم يفعل ذلك قط.

## (٢) هيئة قطب الدين الشيرازي لكوكب عطارد

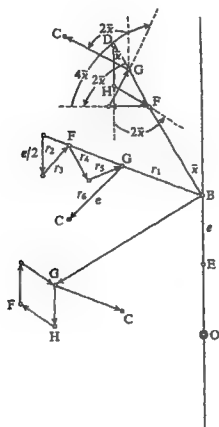
لقد تم وصف هيئة الشيرازي هله بشكل مقتضب على يد إ. س. كينيدي (E. S. Kennedy)<sup>(٧٣)</sup>. ونحن نعتمد فيما يلي على ذلك الوصف وعلى هيئة الشيرازي الواردة في كتاب التحفة الشاهية.

(٧١) المصدر نفسه، ص ٢٥٧.

(٧٢) يقول الطوسي في التذكرة (لیدن، خطوطه شريعات، ٩٠٥)، الورقة ٤٧: «وإذا في عطارد، فلم يتيسر لي بعد توهم ذلك كما ينبغي. فإن توهم السبب في تشابه الحركة حول نقطة تتركب حركة المتحرك في القرب إليها والبعد عنها تركباً كبيراً، متعذر. وإن يمر الله تعالى ذلك، ألمفته بذلك الموضع إن شاء الله تعالى».

(٧٣) انظر: Edward Stewart Kennedy, «Late Medieval Planetary Theory», *Istis*, vol. 57, no. 189 (Fall 1966), pp. 365 - 378 and especially pp. 373 - 375.

لقد اقترح الشيرازي إبدال هيئة عطارده التي صاغها بطليموس بهيئة جديدة من عنده (الشكل رقم (٣ - ٢٦))، تتضمن ستة أفلاك هي التالية: (١) فلك حامل نصف قطره  $r_1$  يعادل 60 جزءاً مركزه B خارج عن مركز العالم بمثل خروج المركز عند بطليموس، وهذا المركز غير متحرك، كما هي الحال في هيئة بطليموس، مما يزيل الحاجة إلى الفلك «المدير». (٢ - ٥) مزدوجتان متساويتان من «مزدوجات الطوسي» أنصاف أقطار كراتها الصغيرة متساوية  $r_2 = r_3 = r_4 = r_5$  وتعادل نصف خروج المركز عند بطليموس. (٦) فلك سادس، نصف قطره  $r_6$  يعادل خروج المركز.



الشكل رقم (٣ - ٢٦)

أما حركات هذه الأفلاك فهي كما يلي حسب وصف كينيدي (Kennedy) لها، وحسب وصف الشيرازي في التحفة: يتحرك الفلك الحامل باتجاه التوالي بحركة مستوية مثل حركة الشمس الوسطى  $\bar{x}$ . فتنقل بهذه الحركة جميع الأفلاك الأخرى، أي أفلاك «مزدوجتي الطوسي» والفلك السادس الذي نصف قطره مساو لخروج المركز. أما «مزدوجة الطوسي» الأولى فتتحرك كراتها الكبرى بحركة الشمس الوسطى، ولكن على

خلاف التوالي. هذا يعني أن الكرة الصغرى تتحرك بضعف تلك الحركة بالاتجاه المعاكس، حافظة بذلك نقطة التماس الأصلية  $F$  دائماً باتجاه قطر الكرة الكبرى الذي هو اتجاه نصف قطر الحامل. وهذه النقطة  $F$  التي تتردد على نصف قطر الحامل هي أيضاً مركز الكرة الكبرى في «مزدوجة الطوسي» الثانية. أما حركة «مزدوجة الطوسي» الثانية فهي ضعف حركة «المزدوجة» الأولى، ولكن بالاتجاه المعاكس، مما يؤدي إلى إحداث نقطة جديدة خاصة بها هي النقطة  $G$  التي تتردد دائماً على طول قطر الكرة الكبرى، الذي هو بدوره على امتداد نصف قطر الحامل. ونتيجة حركة المزدوجتين هي أن تبقى مركز الفلك السادس  $G$  على طول نصف قطر الحامل، وأن تسمح له بأن يقترب من الأرض وأن يبتعد عنها. فبهذه الحركة يحقق نصف قطر الفلك السادس  $GC = r_6$  والخط  $BE$  شروط القضية التي برهنها العرضي، وهذا ما يسمح لمركز فلك التدوير أن يرسم خطاً بيضاوياً مضغوطاً قرب وسطه، أي حيث يكون مركز فلك التدوير في الخفيضين.

وإذا شئنا وصف هذه الحركات باللغة الحديثة المثبتة في رياضيات المتجهات، فإننا نقول: إذا فرضنا أن الفلك الحامل قد تحرك بزاوية قدرها  $\alpha$ ، لنأخذ، عندئذ، كنصف قطر للفلك الحامل (الشكل رقم ٣ - ٢٦) المتجه  $r_1$  الذي قد تحرك بزاوية  $\alpha$ ، ويكون المتجه  $r_2$ ، وهو نصف قطر الكرة الصغرى في «مزدوجة الطوسي» الأولى، قد تحرك بحركة الكرة الكبرى بالاتجاه المعاكس بزاوية قدرها  $\alpha$ . أما حركة الكرة الصغرى فتتحرك المتجه  $r_3$  بالاتجاه المخالف لحركة  $r_2$  وبزاوية قدرها  $2\alpha$ . أما في «مزدوجة الطوسي» الثانية، فإن المتجه  $r_4$  يتحرك بحركة الكرة الكبرى بزاوية قدرها  $2\alpha$ ، تقاس من اتجاه  $r_1$ ، ويتحرك المتجه  $r_5$  بحركة الكرة الصغرى باتجاه معاكس لاتجاه  $r_4$  بزاوية قدرها  $4\alpha$  تقاس من اتجاه  $r_4$ . أخيراً يتحرك المتجه  $r_6$  بحركة فلكه الخاص به بزاوية قدرها  $\alpha$  تقاس من اتجاه  $r_1$ .

إن مجموع هذه المتجهات  $r_2, r_3, r_4, r_5, r_6$  التي تصورهاها على هذا النحو يسمح لمركز الفلك السادس  $G$ ، الذي هو أصل المتجه  $r_6$ ، بأن يتردد على طول نصف قطر الفلك الحامل. ومركز الفلك الحامل، في هذه الهيئة، يكون على بعد ثابت من مركز العالم قدره ضعف خروج المركز عند بطلميوس. ولما كان المتجه  $r_6$  يتحرك دوماً بزاوية مساوية لتلك التي يتحرك بها الفلك الحامل، وينفس الاتجاه، فإن رأس هذا المتجه يبدو وكأنه يتحرك دوماً بحركة مستوية حول مركز معدل المسير كما يمكن أن تنبئ به القضية التي برهنها العرضي في هيئة الكواكب العليا، وكما هو المفروض حسب أوصاف بطلميوس.

وهكذا يظهر أن الشيرازي قد استفاد، على ما يبدو، من النتائج التي توصل إليها كل من الطوسي والعرضي لصياغة هيئته الخاصة به، مستخدماً في ذلك الأساليب نفسها التي تم تطويرها قبله مثل «مزدوجة الطوسي» وقضية العرضي.



### الصورة رقم (٣ - ٣)

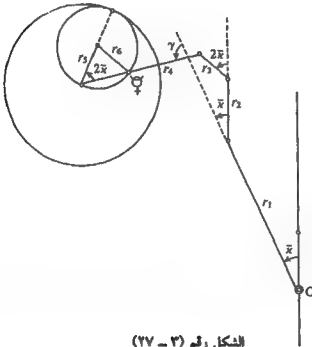
قطب الدين الشيرازي، نهاية الإدراك في دراية الأفلاك  
(القاهرة، مخطوطة المكتبة الوطنية، طلعت، هيئة ٤٥).

كانت أغلب المشكلات التي قابلت علماء الهيئة تتعلق بحركة القمر وحركة عطارد، وذلك لعدم انتظام حركة كل من هاتين الجرمين. ونرى هنا ما قدمته مدونة 'مراغة' لحل هذه المشكلة والذي كان إنجازاً كبيراً في تاريخ علم الفلك. نرى هنا تركيباً معقداً لدوائر عدة ومختلفة مع استعمال 'مقدمة' الطوسي. وكما نرى فهذا النموذج يختلف تماماً عن نموذج بطليموس، وذلك ما رأيناه مع البيروني من قبل.

### (٣) هيئة ابن الشاطر لكوكب عطارد

لقد ابتكر ابن الشاطر هيئة جديدة لكوكب عطارد تتلاءم، في آن واحد، مع حركات الأفلاك المستوية حول مراكزها الخاصة بها ومع الأرصاد البطلمية التي تقتضي أن تكون حركة عطارد مستوية حول مركز معدل المسير وأن يكون بعده الأقصى عن موضع الشمس الوسطى في نقطتين متناظرتين تقع كل منهما على زاوية قدرها  $120^\circ$  تقريباً من جانبي موضع الأوج. وكما فعل الشيرازي من قبل، فإننا سنرى أن ابن الشاطر قد استخدم النتائج التي توصل إليها كل من الطوسي والعرضي، وبالأخص «مزدوجة الطوسي» وقضية العرضي.

لقد استخدم ابن الشاطر الأسلوب نفسه الذي استخدمه سابقاً في هيتي القمر والكواكب العليا اللتين مر وصفهما. فقد بدأ، هنا أيضاً، بإقامة الهيئة المبتكرة مفترضاً أنها تتطابق مع مركز الأرض لكي يتحاشى استخدام الأفلاك الخارجية المراكز التي كان يخطئها الآخرون في استخدامها<sup>(٧٤)</sup>. ولكي يجعل الهيئة مطابقة لمركز الأرض بالذات افترض (الشكل رقم (٣ - ٢٧)) وجود فلك مائل، نصف قطره  $r_1$  مساو لستين جزءاً، مركزه مطابق



الشكل رقم (٣ - ٢٧)

(٧٤) انظر: ابن الشاطر، نهاية السؤل في تصحيح الأصول، بداية الفصل الثاني، حيث ينتقد ابن الشاطر علماء الفلك الأوائل الذين استخدموا أفلاكاً حاملة خارجية للمراكز.

لمركز العالم O، ويتحرك باتجاه التوالي بحركة تعادل حركة الشمس الوسطى. ويجعل هذا الفلك المائل على منطقتة فلماً آخر، يُسمى الفلك الحامل، نصف قطره  $r_2$  يعادل 5؛ 4 جزءاً، ويتحرك بمثل حركة الفلك المائل ولكن بالاتجاه المعاكس. ويجعل الفلك الحامل، بالطريقة نفسها، فلماً ثالثاً، يسمى الفلك المدير، نصف قطره  $r_3$  يعادل 50؛ 0 جزءاً، ويتحرك على التوالي، مثل الفلك المائل، ولكن بضعف حركة الشمس الوسطى. أما الفلك المدير فيحمل فلك التدوير الذي يعادل نصف قطره  $r_4$  46؛ 22 جزءاً، والذي يتحرك بحركة كوكب عطارد الخاصة. وعلى منطقة فلك التدوير فلك خامس، يسمى الفلك المحيط أو الشامل، نصف قطره  $r_5$  يعادل 33؛ 0 جزءاً، ويتحرك باتجاه التوالي بمثل ضعف حركة الشمس الوسطى. ويجعل الفلك الخامس فلماً آخر سادساً، يسمى الفلك الحافظ، نصف قطره  $r_6$  يعادل نصف قطر الفلك الخامس، ويتحرك بخلاف التوالي بحركة قدرها أربعة أضعاف حركة الشمس اليومية الوسطى. أما الكوكب عطارد فهو مركز على منطقة الفلك السادس.

وإذا استخدمنا المصطلحات الحديثة للمتجهات، جعلنا نصف قطر الفلك المائل متجهاً  $r_1$  طوله 60 جزءاً. وتكون حركته باتجاه التوالي بقدر حركة الشمس اليومية الوسطى. ونجعل متجهاً آخر  $r_2$  على رأس المتجه الأول، يمثل الفلك الحامل، فيكون طوله 5؛ 4 جزءاً. أما حركته فتكون مثل حركة  $r_1$  وبالاتجاه للمعكس. هذا يعني أن  $r_2$  ينتقل دوماً باتجاه مواز لاتجاه خط الأوج والحضيض، ويجعل بالتالي قسماً من خروج المركز يعادل 5؛ 4 جزءاً من المركز إلى المحيط. أما المتجه  $r_3$  الذي يمثل المدير، فيتحرك بضعف حركة  $r_1$  وبالاتجاه نفسه. ونستطيع أن نبين بسهولة، باستخدام قضية العرضي، أن رأس المتجه  $r_3$  يبدو وكأنه يتحرك بحركة مستوية حول نقطة على خط الأوج والحضيض يكون بعدها عن مركز العالم مسواً  $3;15 = 50 - 5 - 0$ ؛ 4 جزءاً. ولما كان رأس المتجه  $r_3$  هو حقاً مركز فلك التدوير في هيئة بطليموس، ينتج عن حركته النتيجة نفسها التي تتأتى من حركة مركز فلك التدوير حول مركز معدل المسير، الذي يبعد ثلاثة أجزاء عن مركز العالم في هيئة بطليموس. وهكذا ينحل إشكال معدل المسير.

أما المتجهان الأخيران  $r_5$  و  $r_6$  فيفترض بهما تحقيق المطلب الثاني في هيئة بطليموس، وهو جعل فلك تدوير عطارد يبدو أكبر حجماً عندما يكون الكوكب على بعد حوالي 90 درجة من الأوج. وهذا ما يتحقق إذا فرضنا أن هذين المتجهين يمثلان نصف قطر الدائرة الصغيرة في «مزدوجة الطوسي»<sup>(٧٥)</sup>، حيث يصبح قطر الدائرة الكبيرة باتجاه قطر فلك

(٧٥) يتكلم ابن الشاطر عن فلكين نصف قطريهما متساويان مركز أحدهما على محيط الآخر. فذلك يعني ضرورة أنه كان يقصد بذلك «مزدوجة الطوسي» وليس دائرتين متقاطعتين، وإلا لكان على هذه الأفلاك أن تتقاطع مما لم يكن مقبولاً حسب العرف الذي كان شائعاً خلال القرون الوسطى.

التدوير، فيزداد وينقص هذا الأخير بقيمة قدرها 66: 0 جزءاً.

وهكذا يتم بتحقيق هذا المطلب الأخير الرد على المطلبين الرئيسيين في هيئة بطليموس، وتزول التناقضات التي كانت تعترى تلك الهيئة. وكما نوهنا سابقاً فإن هيئة ابن الشاطر هذه قد استفادت من النتائج المهمة التي توصل إليها كل من العرضي والطوسي. لذلك نستطيع القول إن ابن الشاطر كان وريثاً حقيقياً لتقليد فلكي عربي عريق، أعطاه نتائج عديدة. وقد تمكن ابن الشاطر من جمعها معاً، كما فعل مثلاً في هيئة الكواكب العليا، ومن إضافة مطلب التطابق مع مركز الأرض إليها. كل ذلك حصل خلافاً لما فعله كوبرنيكوس الذي استخدم الهيئة نفسها لحركات عطارد دون أن يفهمها جيداً في أول الأمر - كما في كتاب *Commentariolus*<sup>(٧٦)</sup> ثم عاد فأحسن وصفها في كتاب *De Revolutionibus*<sup>(٧٧)</sup>.

#### (٤) هيئة صدر الشريعة لكوكب عطارد

لقد عرض صدر الشريعة هيئة بطليموس لكوكب عطارد<sup>(٧٨)</sup> في كتاب التعديل، وختم ذلك بتعليل للشواهد التي كانت تلم بها. ثم كرر ما قاله الطوسي في كتاب التذكرة حيث اعترف صراحة بأنه لم يكن بعد قد صاغ هيئة لحركات عطارد. وادعى صدر الشريعة عندئذ أنه وفق بحون الله حيث أخفق الطوسي. وتابع بعد ذلك كلامه فوصف هيئة تعتمد بخطوطها الرئيسية على تعديل الهيئة التي كان قطب الدين الشيرازي قد أعدها لحركات القمر، والتي جاء ذكرها سابقاً.

يقترح صدر الشريعة في الشكل رقم (٣ - ٢٨) زيادة فلك جديد حامل خارج المركز، يبعد مركزه F عن مركز الفلك المدير بقدر نصف خروج المركز عند بطليموس، وهذا ما يجعل هذا المركز فوق مركز معدل المسير عند بطليموس باتجاه الأوج على بعد قدره مرة ونصف مرة من خروج المركز عند بطليموس. ويتحرك هذا الفلك بحركة هي ضعف حركة المدير وبالاتجاه المخالف لها، أي أنها تكون باتجاه التوالي. يستخدم صدر الشريعة بعد ذلك قضية العرضي، ويضيف فلك تدوير صغير على منطقة الحامل، نصف قطره  $r_1$  مسار لنصف خروج المركز عند بطليموس، ويجعل هذا الفلك يتحرك بمثل حركة الحامل وبالاتجاه نفسه. أما فلك التدوير الحقيقي للكوكب فهو محمول على منطقة هذا التدوير

(٧٦) انظر: Swerdlow, «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary», p. 504.

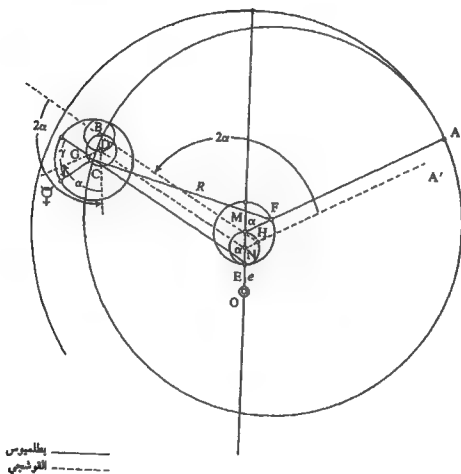
(٧٧) انظر: Noël M. Swerdlow and Otto Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 10, 2 vols. (New York: Springer - Verlag, 1984), pp. 403 ff.

(٧٨) صدر الشريعة، كتاب التعديل في الهيئة، الورقتان ٣٢ - ٣٣.





المركز عند بطليموس. وهذا الفلك الصغير محمول على فلك التدوير الصغير آخر مماثل للأول ومركزه النقطة B. ويفترض بعد ذلك أن فلك التدوير الصغير الذي مركزه B هو أيضاً محمول على فلك حامل جديد مركزه النقطة H، التي تبعد عن مركز المذير N بقدر نصف خروج المركز عند بطليموس. والنقطة N هي المركز الجديد للفلك المذير. وكان القوشجي قد حدد بعد مركز المذير الجديد هذا عن مركز العالم بقدر مرة ونصف مرة من خروج المركز عند بطليموس.



HB. ويتحرك فلك التدوير الصغير الذي مركزه B بمثل حركة الفلك الحامل وينفس الاتجاه، فينقل النقطة D، التي هي مركز فلك التدوير الصغير الآخر، لتبدو وكأنها تتحرك بحركة مستوية حول النقطة N، التي هي مركز المدبر الجديد. أما فلك التدوير الصغير الآخر فينقل مركز فلك التدوير G إلى خلاف التوالي، بحركته التي تعادل حركة الفلك المدبر قلداً رجعة. وبمجموع هذه الحركات يضمن أن تبقى النقطة G دائماً باتجاه النقطة C وعلى الخط الواصل بين النقطة C ومركز معدل المسير B. هكذا تبدو النقطة G وكأنها تتحرك دوماً بحركة مستوية حول مركز معدل المسير، كما هو المفروض.

إن المتفحص لهذه الهيئة عن كثب يكتشف فوراً أنها مدينة بالدرجة الأولى لقضية العرضي، إذ تم استخدام هذه القضية أولاً لجعل D وN على خط واحد، وثانياً لجعل G وB على خط آخر مواز للخط الأول. وهذه الهيئة مدينة أيضاً، بالدرجة الثانية، للهيئة التي أوردها قطب الدين الشيرازي للقمر - لأنها حافظت على الآلية التي استخدمها بطليموس بعد تنصيف خروج المركز - ولهية القمر الأكثر بساطة التي ارتأها صدر الشريعة.

### خاتمة

وهكذا يتضح لنا، بعد هذا العرض العام لنظريات حركات الكواكب التي طورها علماء الفلك الناطقون بالعربية بعد القرن الثاني عشر للميلاد، أن هذا التقليد العلمي الطويل الأمد قد توصل إلى تحقيق إنجازين رئيسيين، هما بشكل أساسي، نظريتان رياضيتان. هذا إذا طرحنا جانباً موضوع حركة الكواكب في العرض، وموضوع أبعاد الكواكب اللذين لم يحصلوا على نفس الاهتمام في هذا التقليد العلمي. أما النظريتان اللتان أشرنا إليهما أعلاه فهما «قضية العرضي»، و«مزدوجة الطوسي». فباستخدام هاتين النظريتين، وباللجوء إلى تنصيف خروج المركز عند بطليموس، أصبح بالإمكان نقل أقسام من تلك الهيئات من المركز إلى المحيط وبالعكس. فهذه الحرية في الحركة قد سمحت بالحفاظ على مفعول معدل المسير عند بطليموس، ولكنها سمحت أيضاً بتطوير مجموعة من الحركات المستوية التي لا تتعارض مع المعطيات الطبيعية. إضافة إلى ذلك، إن «مزدوجة الطوسي» قد سمحت أيضاً بإحداث حركة خطية نتيجة لحركات دائرية، مما مكن ابن الشاطر، وكوبرنيكوس من بعده، من أن يحدثا تغييراً في أقطار أفلاك التدوير المرئية، فتبدو أكبر أو أصغر مما كانت عليه، وذلك باللجوء إلى حركة دائرية مستوية أو إلى تراكيب حركات أخرى مثيلة لتلك الحركة.

النتيجة الأخرى التي تم التوصل إليها من هذا العرض العام هي أن الانتقادات التي تعرض لها بطليموس أصبحت تقليداً متبعاً بعد القرن الثالث عشر. وكان ينذر أن تهد في تلك الفترة فلكياً يقوم بعمل فلكي رصين دون أن يتعرض إلى إصلاح علم الفلك اليوناني بطريقته الخاصة به. والمضحك في الأمر أن هذه الفترة التي تمت فيها معظم الإنجازات

الفلكية الأصيلة والتي كتبت باللغة العربية هي أيضاً الفترة التي يشار إليها عادة بأنها كانت فترة انحطاط في الإنتاج العلمي الإسلامي ولا يعيرها الباحثون إلا القليل من اهتمامهم.

ولكن الأعمال الحديثة التي تناولت علم الفلك عند كوبرنيكوس، وخاصة تلك التي قام بها كل من نوجبُور (Neugebauer) وسُورْدِلو (Sverdlow)، لم تترك مجالاً للشك في تأثير هذا التقليد العربي في علم الفلك على كوبرنيكوس نفسه. وما نحن إلا بانتظار الأبحاث التي ستتم مستقبلاً لكي نتحقق من السبل التي تم استخدامها في نقل هذا التراث العلمي العربي من الشرق إلى الغرب، والتي كان لها هذا التأثير على كوبرنيكوس.



## - ٤ -

# علم الفلك والمجتمع الاسلامي

دافيد كينغ (\*)

## القسم الأول: القبلة: الوجهة المقدسة

مدخل<sup>(١)</sup>

فرض القرآن الكريم على المسلمين أن يولوا وجوههم شطر الحرم المقدس في مكة إبان صلواتهم. فقد جاء في الآية (١٤٤) من سورة البقرة: ﴿قُلْ وَجْهَكُم لِمَسْجِدِ الْحَرَامِ وَحَيْثُ مَا كُنْتُمْ فَوَلُّوا وُجُوهَكُمْ شَطْرَهُ﴾. والمركز المادي للعبادة الإسلامية في الواقع هو الكعبة، التي هي عبارة عن بناء مكعب يقع في قلب مكة. ولقد أصبح هذا الحرم الوثن القديم، والذي لم يحدد بالضبط منشؤه تاريخياً، المركز المادي للدين الجديد، الإسلام، والدلالة على حضور الله.

---

(\*) مهدي تاريخ العلوم، جامعة جوان وولفغانغ، غوته - فرانكفورت - ألمانيا.

قام بترجمة هذا الفصل نزيه عبد القادر للرعي.

(١) من أجل نظرة شاملة حول مسألة القبلة، انظر: David A. King, «The Sacred Direction in Medieval Islam: A Study of the Interaction of Science and Religion in the Middle Ages», *Interdisciplinary Science Reviews*, vol. 10 (1985), pp. 315 - 328.

وحول مواضيع مختلفة تتطرق إلى هذه المسألة، انظر: «Anwā'; «Manāzib; «Matla'; «Ka'ba»; «Kibla», et «Makka» dans: *Encyclopédie de l'Islam*, 6 vols. parus, 2<sup>ème</sup> éd. (Leiden: E. J. Brill, 1960 -).

فالمسلمون يولون، إذن، وجوههم شطر الكعبة خلال صلواتهم، كما أن مساجدهم موجهة نحوها. ويشير المحراب في الجامع إلى القبلة، أي إلى الاتجاه المحلي لمكة. وكان الأموات يدفنون في القرون الوسطى على الجانب وبشكل مواجه للقبلة. بينما يتم الدفن في أيامنا هذه تبعاً لاتجاهها. ويفرض التقليد الإسلامي أيضاً على الإنسان الذي يقوم ببعض الأعمال، كتلاوة القرآن الكريم والدعوة إلى الصلاة والذبح الشعائري للحيوانات بهدف الأكل، أن يقف مقابل القبلة. كما يفرض من جهة أخرى قضاء الحاجات الطبيعية بشكل متعامد معها. يتجه المسلمون إذاً في حياتهم اليومية جسدياً وروحياً نحو الكعبة والمدينة للقدسة مكة منذ ما يقارب أربعة عشر قرناً<sup>(٢)</sup>.

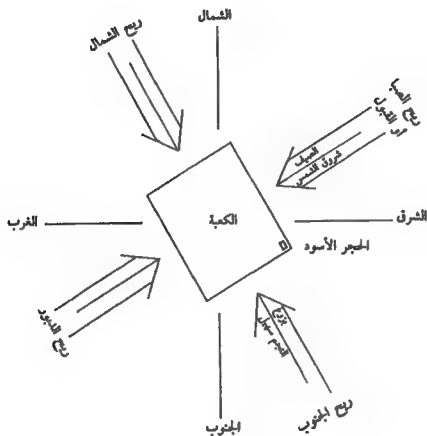
ابتكر الفلكيون المسلمون طرقاً لتحديد موقع القبلة حسابياً في أي مكان انطلاقاً من معطيات جغرافية متوفرة، معالجين موضوع هذا التحديد كمسألة من مسائل علم الجغرافيا الرياضية. وهذا ما تقوم به السلطات الإسلامية حالياً. غير أن الطرق الرياضية لم تكن سهلة المثال عند المسلمين قبل نهاية القرن الثامن أو بداية القرن التاسع. يضاف إلى ذلك، أن القبلة المحددة حسابياً لم تلق، على كل حال، تطبيقاً شاملاً حتى في العصور اللاحقة. وهذا ما تظهره مباشرة دراسة اتجاهات المساجد في القرون الوسطى، التي لم تكن إجمالاً موجهة بشكل صحيح نحو مكة المكرمة، أو على الأقل لم تكن موجهة وفق التحديد العلمي للقبلة. وكانت الطرق المستخدمة عادة لإيجاد القبلة مشتقة من علم الفلك الشائع. فلقد استخدمت الجهات الأساسية التي ثبتها التقليد الديني، كما استخدم الشروق والغروب الفلكيان. اعتمد المسلمون، إذاً، وجهات نظر حول الاتجاه المقدس تختلف عن تلك التي اعتمدها اليهود والمسيحيون الذين فضلوا بشكل عام الصلاة باتجاه الشرق. وقد كان لهذا التطور المستقل سبب موجب.

## اتجاه الكعبة

إن الكعبة نفسها موجهة فلكياً، أي أن قاعدتها المستطيلة موجهة وفقاً لاتجاهات فلكية لها دلالتها. وتعود أقدم الروايات للدونة التي تتطرق إلى مسألة الاتجاه الفلكي للكعبة إلى القرن السابع، وقد نسبت هذه الروايات إلى بعض صحابة النبي (ﷺ). وتوحي النصوص بأن المحور الكبير موجه نحو بزوغ النجم سهيل، الأكثر إشراقاً في نصف الكرة الجنوبي، وبأن المحور الصغير موجه نحو شروق الشمس في الانقلاب الصيفي. هذان الاتجاهان هما تقريباً متعامدان في خط عرض مكة المكرمة (انظر الشكل رقم ٤ - ١). وتؤكد الخرائط

(٢) حول الطرق الشائعة لتحديد القبلة، انظر: G. S. Hawkins and David A. King, «On the Orientation of the Ka'ba», *Journal for the History of Astronomy*, vol. 13 (1982), pp. 102 - 109. حول مفهوم عالم مقسم حول الكعبة، انظر: David A. King, «The Sacred Geography of Islam», in: *Islamic Art*.

الحديثة للكعبة وللجبال المحيطة بها، والمبنية على التصوير الجوي، المعلومات الأساسية التي تقدمها النصوص العائدة للقرون الوسطى.



الشكل رقم (٤ - ١)

اتجاه فلكي للكعبة، ورد ذكره في العديد من النصوص العربية التابعة للقرون الوسطى، وأكدته الباحثون المعاصرون. وتصميم الرياح المرتبط بهذا الاتجاه والمبين هنا، هو أيضاً قد وصف في مصادر القرون الوسطى.

تظهر هذه النصوص بوضوح أن المسلمين من الأجيال الأولى كانوا يعرفون أن الكعبة موجهة فلكياً، لذلك كانوا يستخدمون اتجاهات فلكية لكي يولوا وجوههم شطرها، عندما يكونون بعيدين عنها. وفي الواقع، فإنهم غالباً ما استخدموا، ليولوا وجوههم شطر الجزء الموافق من الكعبة، الاتجاهات الفلكية نفسها التي كان عليهم استخدامها فيما لو وُجدوا مباشرة مقابل هذا الجزء الخاص منها. ومن بين التصميمات المختلفة الشائعة للرياح، هناك واحد يربط بين الرياح الأربع الأصلية والأسوار الأربعة للكعبة (انظر الشكل رقم ٤ - ١١).

لهذه الأسباب، استخدم المسلمون طوال فترة زادت على الألف عام وجهات لتحديد القبلة مبنية على ظواهر فلكية تحدث في الأفق وعلى اتجاهات الرياح.

### اتجاهات المساجد الأولى<sup>(٣)</sup>

قال النبي محمد (ﷺ) عندما كان في المدينة: «ما بين المشرق والمغرب قبلة»، وصل هو نفسه مباشرة نحو الجنوب باتجاه مكة. فاعتمد بعض المسلمين الجنوب كاتجاه للقبلة أينما كانوا وذلك تيمناً بالنبي (ﷺ)، مفسرين ملاحظته على أن القبلة تقع مباشرة نحو الجنوب، حيثما كان المكان. لذلك، عندما شيد الجيل الأول من المسلمين، أي الصحابة، المساجد من الأندلس إلى آسيا الوسطى، كان بعضها متجهاً نحو الجنوب، مع أن ذلك قلما كان مناسباً في الأماكن البعيدة جداً، الواقعة نحو الشرق أو الغرب من خط زوال مكة. ويشهد على هذه الممارسة بعض المساجد من الأندلس حتى آسيا الوسطى. ويمكننا مقارنة اتجاه المساجد هذا مع اتجاه الكنيسة والكثيس نحو الشرق.

---

(٣) حول المسائل التي تتطرق إلى اتجاه العمارة الدينية في قرطبة والقاهرة وسمرقند، انظر:

David A. King: «Some Medieval Values of the Qibla at Cordova», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 2 (1978), pp. 370 - 387, reprinted in: David A. King, *Islamic Astronomical Instruments* (London: Variorum Reprints, 1986), XV; «Al-Bazdawī on the Qibla in Early Islamic Transoxiana», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 7, nos. 1 - 2 (1983), pp. 3 - 38, and «Architecture and Astronomy: The Ventilators of Medieval Cairo and their Secrets», *Journal of the American Oriental Society*, vol. 104 (1984), pp. 97 - 133.

انظر أيضاً: F. B. Barmore, «Turkish Mosque Orientation and the Secular Variation of the Magnetic Declination», *Journal of Near Eastern Studies*, vol. 44 (1985), pp. 81 - 98,

التي هي أول (والوحيدة) دراسة منهجية عن اتجاه المساجد في منطقة معينة.

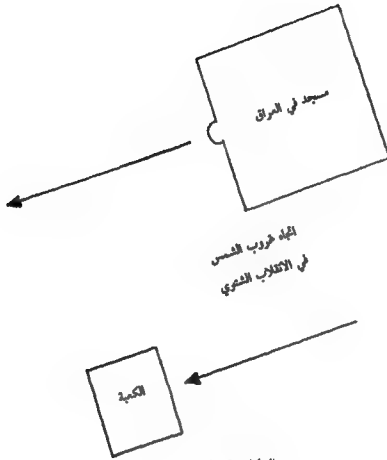


لم تروح فيما بعد ممارسة الرسول وحدها إلى المسلمين، بل تم أيضاً الاقتداء بممارسة صحابته. فالنبي (ﷺ) قال: «أصحابي كالنجوم، بأيهم اقتديتم اهتديتم». لذلك بقيت القبلات، التي اعتمدها الصحابة في مختلف أجزاء العالم الإسلامي الجديد، شائعة خلال العصور اللاحقة. ففي سوريا وفلسطين جرى اعتماد الجنوب التام كاتجاه للقبلة، ولاحقاً أصبح هذا الاتجاه القبلة الجائزة بوجه عام، في هذين البلدين. تملك هذه القبلة ميزة مزدوجة، فالرسول استخدمها وصحابته كذلك. أما في أجزاء أخرى من العالم الإسلامي، فقد اعتمد الجيل الأول من المسلمين اتجاهات غير الجنوب التام لأسباب سنذكرها فيما بعد.

أما خارج شبه الجزيرة العربية، فقد تم تشييد بعض المساجد الأولى في مواقع صروح دينية كانت قائمة في السابق، كما تم تحويل بعض الصروح السابقة إلى مساجد. ففي القدس مثلاً، شُيد المسجد الأقصى في العام ٧١٥م في موقع المبد المستطيل، وتم توجيه محرابه وفقاً للمحور الكبير لمجمل البناء، بحيث إنه كان موجهاً تقريباً نحو الجنوب. لذلك بقي هذا الاتجاه القبلة المفضلة في القدس خلال العصور اللاحقة، حتى عندما حدد الفلكيون حساباً، انطلاقاً من المعطيات الجغرافية المتوفرة، أن القبلة في القدس تقع تقريباً على 45° نحو الشرق انطلاقاً من الجنوب.

كذلك حوالي سنة ٧١٥م، تم تحويل الكاتدرائية البيزنطية في دمشق إلى مسجد؛ والكاتدرائية نفسها كانت سابقاً معبداً وثنياً موجهاً وفق الاتجاهات الأساسية، وذلك وفق التقليد المتبع في تخطيط الطرق بزوايا قائمة في المدن الإغريقية - الرومانية. وقد وضع المحراب في هذا المسجد الجديد في الحائط الجنوبي. وظل الاتجاه الجنوبي التام للقبلة مفضلاً في دمشق وذلك طيلة قرون عديدة، مع أن الفلكيين حددوا حساباً أن القبلة في هذا المكان تقع على 30° نحو الشرق انطلاقاً من الجنوب. لذلك نجد أن أغلب مساجد القرون الوسطى في دمشق موجهة نحو الجنوب.

شيد أول مسجد في مصر باتجاه شروق الشمس في الانقلاب الشتوي، وبقي هذا الاتجاه الأكثر شيوعاً عند السلطات الدينية خلال القرون الوسطى. ومن ناحية أخرى، تم تشييد بعض أقدم المساجد في العراق باتجاه غروب الشمس في الانقلاب الشتوي. وقد تم اختيار هذه الاتجاهات بطريقة تجعل المساجد موجهة نحو أسوار محددة من الكعبة (انظر الشكل رقم (٤ - ٢)). فعلى امتداد مرحلة القرون الوسطى، كان شروق الشمس وغروبها في الانقلاب الشتوي مفضلين في مصر والعراق على التوالي، كنموذج عن قبلة الصحابة.



الشكل رقم (٤ - ٧)

في العراق، اعتمدت بعض السلطات كقبلة اتجاه غروب الشمس في الانقلاب الشتوي. وأحد الأسباب هو أن السور الشمالي - الشرقي للكعبة كان مقترناً بالعراق. وإذا وقفنا بمواجهة الحائط، فإننا بالفعل ننظر نحو غروب الشمس في الانقلاب الشتوي.

### تحديد القبلة بطرق غير رياضية

هناك طرق عملية بسيطة لتحديد القبلة بواسطة الشمس والقمر والنجوم وحتى الرياح، معروضة في صفوف عديدة متنوعة من نصوص القرون الوسطى. وقد نتجت الطرق التي دعت إلى اتباعها هذه المصادر عن تصورات بني عليها التقليد العلمي الشائع الذي كان متشراً بشكل واسع في العالم الإسلامي خلال مرحلة القرون الوسطى.

وقد وجد هذا التقليد الشائع في علم الفلك والأرصاد الجوية مصدره في شبه الجزيرة العربية قبل الإسلام. إلا أنه تطعم بالتقاليد المحلية كما بالتقاليد الهلنستية من العلم الشائع التي كانت متبعة في المناطق التي غزاها المسلمون في القرن السابع. وكان مختلفاً تماماً عن التقليد العلمي للفلكيين المسلمين، لكنه كان معروفاً ومألوفاً بشكل أوسع.

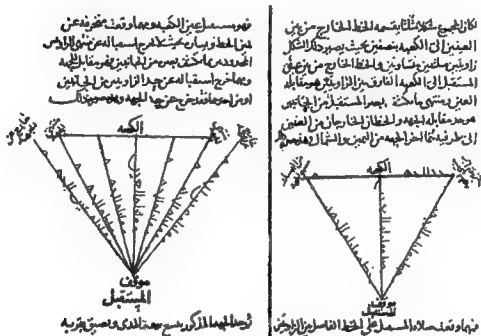
كانت هذه المعرفة الفلكية التي تأسست لأول مرة في القرون الأولى من العصر الإسلامي تطبق عند الحاجة في الممارسة الشائعة على مسائل عملية متعلقة بتنظيم التقويم الزراعي، ويضبط التقويم القمري والأعياد الدينية، وبحساب ساعات النهار بواسطة أطوال الظلال وساعات الليل بواسطة مواقع النيازل القمرية، وتحديد اتجاه القبلة بالطرق غير الرياضية، وهذه المسألة الأخيرة هي التي تهمتا هنا. وما زال بعض عناصر هذه المعرفة الفلكية الشائعة يستخدم حتى يومنا هذا عند بعض التجمعات الزراعية في الشرق الأوسط.

يرتكز التقليد العلمي الشائع، خلافاً لـ «علم الفلك عند الأقدمين»، فقط على رصد الظواهر الطبيعية كالشمس والقمر والنجوم والرياح. وبما أن القرآن الكريم يقول إن هذه الأجرام السماوية وهذه الظواهر الطبيعية هي من صنع الله، وبما أنه يقول بخاصة إن على الناس أن يسترشدوا بالنجوم، لذلك لم يتعرض علم الفلك الشائع لنقد الفقهاء، خلافاً لعلم الفلك الرياضي والتنجيم.

وفي النصوص المذكورة أعلاه، تتحدد القبلة في مكان ما بواسطة ظاهرة فلكية تحدث في الأفق، كيزوغ أو أقول نجم بارز، أو كشرق أو غروب الشمس في الاعتدالين أو في الانقلابين. كما يتحدد اتجاه القبلة أيضاً بواسطة اتجاهات الرياح. وهذه النصوص ليست مصادر اقتبسها أو وضعها فلكيون، لكنها نصوص تنطرق إلى الفريضة الشرعية بالتوجه نحو الكعبة عند الصلاة، أو نصوص تعالج علم الفلك الشائع. إن هذه الطرق غير الرياضية لتحديد القبلة المذكورة عرضاً أو تبعاً للمناسبة في مؤلفات في الجغرافيا أو في التاريخ. وقد التزم الفلكيون من جهةتهم الصمت بوجه عام حيال هذه العمليات غير الرياضية.

في مكان محدد، تيزغ وتأفل النجوم في نقاط ثابتة من الأفق. وفي الاعتدالين يحدث شروق وغروب الشمس الشرق والغرب، وفي الانقلابين تكون أمكنة شروق وغروب الشمس على 30° تقريباً من هذه المواقع الأصلية، باتجاه الشمال في الانقلاب الصيفي،

وباتجاه الجنوب في الانقلاب الشتوي. وتقول المصادر مثلاً، إن القبلة في الشمال - الغربي من أفريقيا هي في اتجاه شروق الشمس في الاعتدالين (شرق حقيقي). والقبلة في اليمن هي في الاتجاه الذي تهب منه رياح الشمال أو في اتجاه النجم القطبي (الذي لا يبرز ولا يأفل، لكن موقعه يحدد الشمال). والقبلة في سوريا هي في اتجاه بزوغ النجم سهيل. والقبلة في العراق هي في اتجاه غروب الشمس في الانقلاب الشتوي. والقبلة في الهند هي في اتجاه غروب الشمس في الاعتدالين (غرب حقيقي).



الصورة رقم (٤ - ١)

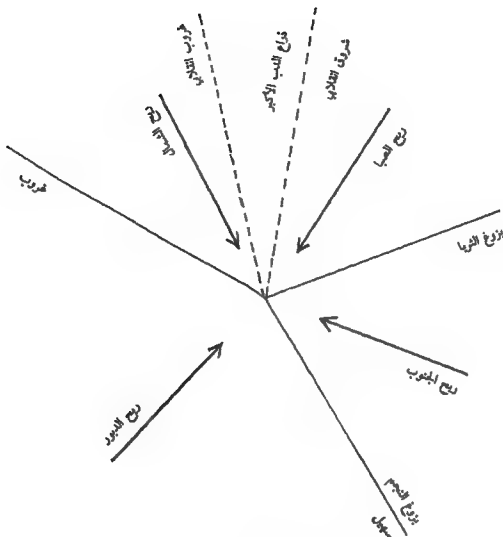
العمليتان المعامتان لتحديد القبلة، اللتان أوصى بهما الفقهاء والمأخوذتان من نص شرعي مصري من القرن الثاني عشر للميلاد حول القبلة (أوكسفورد، مكتبة بودلين، مارس ٥٩٢، الوردتان ٢٣ - ٢٤، نسخ بعد إذن مشكور من أمين متحف المخطوطات الشرقية).

إلا أن الوضع لم يكن تماماً بمثل هذه البساطة، لأن السلطات المختلفة كانت تقترح لتحديد القبلة في كل منطقة طرقاً مختلفة. وفي الواقع، دافعت أحياناً مدارس الفقهاء المختلفة عن قبلات متباعدة كلياً. ففي آسيا الوسطى، مثلاً، كانت إحدى مدارس

الفقهاء تفضل الغرب الحقيقي الذي كان يمثل اتجاه انطلاق الطريق نحو مكة، وكانت المدرسة المنافسة تفضل الجنوب الحقيقي، مستتلة إلى الكلام المذكور أعلاه للنبي (ﷺ). هناك آخرون كانوا يفضلون قبلة الصحابة الذين شيدوا المساجد الأولى في المنطقة، أي في اتجاه غروب الشمس في الانقلاب الشتوي. بينما آخرون بالطبع كانوا يفضلون القبلة التي يحددها الفلكيون حسابياً.

وفي محاولة لحل هذه المسائل، اقترح بعض الفقهاء حلولاً تعتبر أن الوضع الأمثل للمؤمن هو الوضع الذي يسمح بالتقاء خط الرؤية مع الكعبة، على افتراض أن رؤيتها ممكنة بالفعل (على الرغم من أن ذلك مستحيل)، فأجازوا الصلاة في أي اتجاه يقع في حقل رؤية المؤمن الواقف في الوضع الأمثل (انظر الصورة رقم (٤ - ١)). إن التمييزين الرئيسين «جهة الكعبة» و«عين الكعبة» المستخدمین لوصف هاتين الحالتين يعنيان «الواقف في اتجاه الكعبة مباشرة» و«الواقف في الاتجاه العام للكعبة». وبما أن حقل رؤية الإنسان هو أكبر بقليل من ربع الأفق، فإن الغرب الحقيقي والجنوب الحقيقي حدداً، وفقاً لبعض السلطات على أية حال، القبلة الجائزة شرعياً في آسيا الوسطى. كذلك، فإن الشرق الحقيقي والجنوب الحقيقي حددا القبلة الجائزة بالنسبة إلى الفقهاء الأندلسيين الذين رأوا أن ربع محيط الدائرة الجنوبي - الشرقي يشكل بأكمله القبلة.

وكما ذكرنا في السابق، فإننا نجد أحياناً قبلة واحدة بواسطة اتجاه الرياح، بدل أن يتم ذلك بواسطة ظواهر فلكية تحدث في الأفق. هنا يجب التذكير أن تصاميم عديدة للرياح، عديدة بواسطة شروق وغروب الشمس أو النجوم، كانت تشكل جزءاً من علم الفلك الشائع والأرصاء الجوية في شبه الجزيرة العربية قبل مجيء الإسلام. وتحدد حدود الرياح في هذه التصاميم المذكورة في مصادر إسلامية قديمة مختلفة، إما بواسطة بزوغ أو أقول نجوم أو مجموعة نجوم، مثل سهيل والشرى ونجوم ذراع الدب (التي تبرز وتافل تحت خطوط العرض الاستوائية)، أو بواسطة الاتجاهات الأصلية أو بواسطة شروق وغروب الشمس في الانقلابين (انظر الشكل رقم (٤ - ٣)). ويجمع أحد هذه التصاميم الأكثر رواجاً بين الرياح الأربع وأسوار الكعبة (انظر الشكل رقم (٤ - ١)). وعندما يتم اعتماد اتجاه رياح ما كقبلة، يفترض معرفة حدود الاتجاه من حيث تهب الرياح، والحدود هذه محددة فلكياً.



الشكل رقم (٤ - ٣)

تصميم للمرياح ذكره المفنوي الشهير ابن الأعرابي (أقام في الكوفة حوالي سنة ٨٢٥ م)، الذي هو على الأرجح من أصل عربي قبل الإسلام.

### جغرافيا الإسلام المقدسة

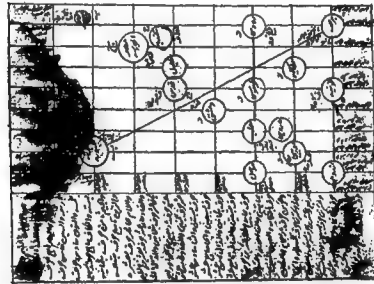
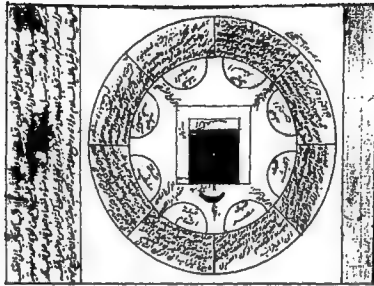
لقي مفهوم الجغرافيا المقدسة، الذي يقسم العالم إلى قطاعات حول الكعبة، حيث يواجه كل قطاع منها جزءاً محدداً من الكعبة، انتشاراً واسماً في العالم الإسلامي إبان القرون الوسطى. ويملك هذا المفهوم الإسلامي عن عالم موجه حول الكعبة، مفاهيم موازية له في التقاليد اليهودية والمسيحية في القرون الوسطى عن عالم مركزه القدس. إلا أن المفهوم الإسلامي أشد تعقيداً.

إن مثلاً عن تصميم إسلامي ينتمي إلى هذا التقليد هو مبن على الصورة رقم (٤ - ٢)، المأخوذة من مخطوطة مصرية تعود إلى القرن الثامن عشر. غير أن التصميم نفسه أقدم بكثير ويعود على الأقل إلى القرن الثاني عشر. فالعالم، وفق هذه الصورة، مقسم إلى ثمانية قطاعات حول الكعبة، والمحارب في كل قطاع يواجه جزءاً معيناً من محيطها. وقد شرح الفقيه المصري الديماطي في القرن الثاني عشر هذا التصور فذكر أن القبلة، بالنسبة إلى الأجزاء المأهولة في العالم، هي كمركز دائرة بالنسبة إلى الدائرة. فكل المناطق تواجه الكعبة وتحيط بها كما تحيط الدائرة بمركزها، وكل واحدة من هذه المناطق تواجه جزءاً معيناً من الكعبة.

مثل الكعبة نفسها ميزات متنوعة كانت ملائمة لإعداد تصاميم خاصة. فظلاً أن هذا الصرح يملك أربع جهات وأربع زوايا، فإن تجزئة العالم إلى أربعة أو ثمانية قطاعات حوله كانت أمراً طبيعياً. وقد تم فعلاً اقتراح تصاميم بأربعة أو ثمانية قطاعات. ومع ذلك، نرى في تصاميم أخرى أن القطاعات قد تم ربطها بأقسام من محيط الكعبة، حيث قسمت الأسوار بواسطة بعض عناصرها، كبئر السور الشمالي - الغربي وباب السور الشمالي - الشرقي.

وفي التصميم الموضح على الصورة رقم (٤ - ٢)، يتحدد الاتجاه الذي يجب أن ينظره المؤمن، الموجود في أي قطاع من قطاعات العالم، إما بواسطة بزوغ أو أنول نجم بارز أو مجموعة نجوم، أو بواسطة اتجاه إحدى الرياح. وفي تصاميم أخرى مشابهة، تتحدد القبلة بواسطة الاتجاهات الأصلية، أو بواسطة شروق أو غروب الشمس في الانقلابين. وتحدد الاتجاهات شروق الشمس وغروبها، في الانقلاب الصيفي وفي الانقلاب الشتوي وفي الاعتدالين مع نقاط الشمال والجنوب، ثمانية قطاعات (غير متساوية) على الأفق؛ كما تحدد أيضاً مع الاتجاهات العمودية على اتجاهات الانقلابين اثني عشر قطاعاً (متساوية تقريباً). وقد استخدم هذان النوعان من التصاميم بثمانية قطاعات وبإثني عشر قطاعاً في جغرافيا الإسلام المقدسة.

إن مصادر إلمانا بهذا التقليد في الجغرافيا المقدسة هي مؤلفات في علم الفلك الشائع، ومؤلفات في علم الفلك الرياضي (وبالأخص أنواع التقاويم التي كانت تصدر سنوياً)، ومؤلفات في الجغرافيا، وموسوعات، ونصوص تاريخية، وأخيراً نصوص تعالج أحكام الشريعة وهي لا تقل أهمية عن غيرها. وبالنسبة إلى التصاميم، فقد كانت مبنية أحياناً بواسطة كلمات وأحياناً أخرى بواسطة رسوم بيانية. إن عدد المصادر، التي تم العثور عليها والتي تؤكد وجود هذا التقليد، يزيد على الثلاثين مؤلفاً. وقد وضعت في الفترة الواقعة ما بين القرن التاسع والقرن الثامن عشر للميلاد. ومن بين هذه المؤلفات خمسة فقط تم نشرها، في حين بقيت المصادر الأخرى بشكل مخطوطات. ونحن على ثقة تامة بأن عدداً أكبر من الأعمال التي تعالج هذا الموضوع قد تم وضعه، ولم يحفظ بين المصادر المخطوطة التي نمتلكها في الوقت الراهن.

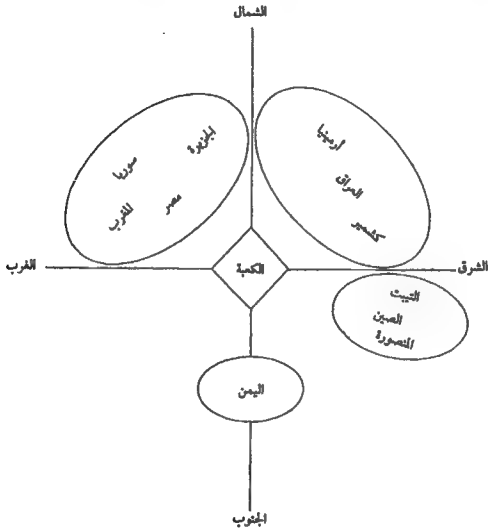


الصورة رقم (٤ - ٢)

رسمان بيانان مأخوذان من مؤلف عثمانى عن السحر والتصرف والفلك الشائع. إلى اليمين، تصميم قديم من الجغرافيا للقسمه بثمانية قطاعات. إلى اليسار، شبكة من خطوط الطول والعرض، حيث هي مبنية الكمية والمواقع المختلفة: يمكن إيجاد قيمة تقريبية للقبلة بقياس انحراف الخط الذي يجمع للموقع المذكور مع الكعبة، والانحراف يكون بالنسبة إلى خط الزوال (القاهرة)، طلعت مجاميع ٧،٨١١، الورقتان ٦٠ - ٦١، نسخ بعد إذن مشكور من مدير المكتبة الوطنية المصرية).



إن أقدم تصميم جغرافي معروف يتخذ من الكعبة مركزاً له، هو تصميم بسيط بأربعة قطاعات مبن في نص (منشور) من جغرافيا ابن خرداذبه، العالم البغدادى من القرن التاسع للميلاد (انظر الشكل رقم ٤ - ٤)). وهناك خطوط من جغرافيا المقدسي، الذي ولد في القرن العاشر للميلاد، وهي تحتوي على تصميم مشوش يتضمن ثمانية قطاعات، وقد حُزف بسبب أخطاء النساخ. وما لا شك فيه أن التصميم لم يكن عملاً أصيلاً للمقدسي. وهو يعود على الأرجح إلى مؤلف آخر سابق للمقدسي.



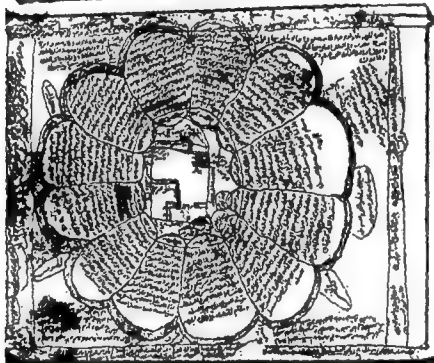
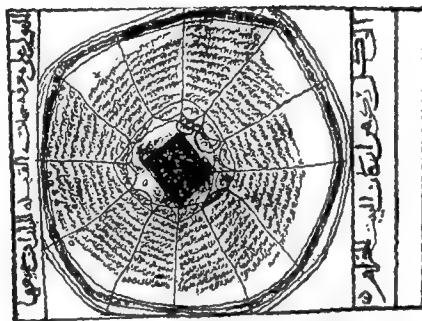
الشكل رقم (٤ - ٤)

تصميم بسيط في الجغرافيا القديمة مقترن باسم ابن خرداذبه.

وأعد الفقيه ابن سراقه من القرن العاشر للميلاد، وهو يعني الأصل تلقى علومه في العراق، نظاماً أكثر تطوراً في الجغرافيا القديمة. فقد وضع ثلاثة تصاميم مختلفة بثمانية قطاعات وبأحد عشر وبإثني عشر قطاعاً حول الكعبة. لكن أعماله حول هذا الموضوع لم تسلم في شكلها الأصلي، إلا أن تصاميمه وردت في مؤلفات مختلفة لاحقة. إن تعليماته لتحديد القبلة في أي منطقة من المناطق المختلفة حول الكعبة مفسرة بالتفصيل دون أي رسم بياني. ففي كل منطقة يشرح كيف يتوجب الوقوف بالنسبة إلى بزوغ أو أفول أربعة أنجم ما، وكذلك بالنسبة إلى رياح أربع. فعل سبيل المثال، يجب على سكان العراق وإيران أن يقفوا بحيث تبرز وتأفل نجوم الدب الأكبر وراء آذانهم اليمنى؛ وأن تبرز مجموعة نجوم برج الجوزاء تماماً وراء ظهرهم؛ وأن تعصف ريح الشرق على كتفهم الأيسر وأن تعصف ريح الغرب على خدهم الأيمن وحلم جرا. لكن نجوم الدب الأكبر، في الواقع، لا تبرز ولا تأفل بالنسبة إلى الأمكنة الواقعة على هذا القدر من البعد نحو الشمال كالعراق وإيران. فهي تبدو في هذه الأمكنة قطبية. لذلك يبدو أن هذه التعليمات قد أعدت في الواقع لكعبة. فعندما نقف في هذه المدينة وفق الوضع الذي حدده ابن سراقه، فإننا نتوجه في الواقع نحو شروق الشمس في الانقلاب الشتوي، مع أن ذلك لم يذكر بوضوح. إن الهدف النهائي لهذه العملية هو التوجه نحو السور الشمالي - الشرقي للكعبة.

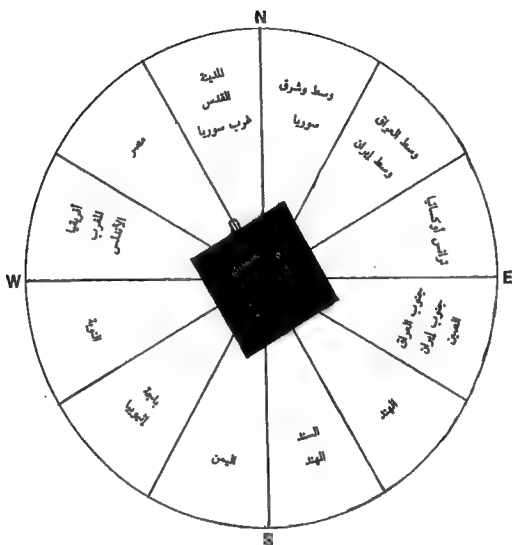
وفي التصميم بثمانية قطاعات، المبين على الصورة رقم (٤ - ٢)، تتحدد القبلة بواسطة نجوم تبرز أو تأفل وراء ظهر الواقف باتجاه القبلة، وبواسطة النجم القطبي. وكانت هذه النجوم، هي النجوم التي يعتقد أنها تكون في مواجهة الواقف أمام الجزء المناسب من الكعبة وقد أدار ظهره إليها. وهناك نصوص فلكية وشرعية، مصرية ويمنية من القرنين الثاني عشر والثالث عشر للميلاد، تتضمن تصميمين مختلفين بإثني عشر قطاعاً، وأحدهما مأخوذ عن تصميم ابن سراقه. ويقدم أحد هذه المؤلفات اليمنية في علم الفلك الشائع التصميمين معاً (الرسوم البيانية مبينة على الصورة رقم (٤ - ٣)). وقد نسخ العديد من المؤلفين في القرون الوسطى، الذين انتشرت أعمالهم بشكل واسع في أجزاء مختلفة من العالم الإسلامي مثل الجغرافي ياقوت وعلماء الكونيات كالفروني وابن الوردي، نسخوا هذه التصاميم بإثني عشر قطاعاً، لكنهم أسقطوا التعليمات الملحقة التي تسمح بتجديد القبلة (انظر الشكل رقم (٤ - ٥)).

هناك تصميم آخر موجود في الأطلس البحري للعالم التونسي السفاقصي من القرن السادس عشر. ويتميز هذا التصميم عن غيره باحتوائه أربعين عمراً حول الكعبة ويتطابقه مع دوائر للرياح مضمنة اثنين وثلاثين قسماً. وقد استخدم الملاحون العرب هذا الرسم لتحديد اتجاهاتهم بواسطة بزوغ وأفول النجوم (انظر الصورة رقم (٤ - ٤)).



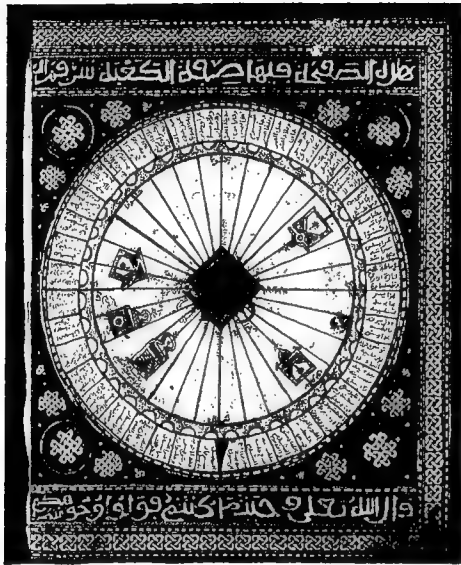
### الصورة رقم (٤ - ٣)

تصميمان مختلفان من الجغرافيا المقلدة بإثني عشر قطاعاً، مع تعليمات كاملة لتحديد القبلة بواسطة ظواهر فلكية تحدث في الأفق. هذه الرسوم موجودة في مؤلف يمني في الفلك الشائع من القرن الثالث عشر للميلاد (Milan, Bibl. Ambrosiana, X fol. 73 sup., non fol.) نسخ بعد إذن مشكور من مدير المكتبة.



الشكل رقم (٤ - ٥)

نسخة مبسطة لتصميم في الجغرافيا المقدمة بإثني عشر قطاعاً لأين سراقه، كما صوره العديد من علماء الدراسات الكونية في نهاية القرون الوسطى.



الصورة رقم (٤ - ٤)

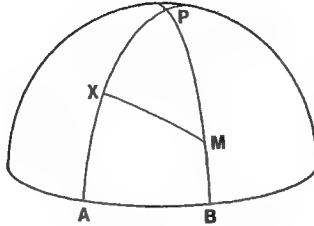
تصميم في الجغرافيا المقدسة بأربعين قطاعاً، مأخوذ من أطلس العالم التونسي الصفاقسي، من القرن السادس عشر. هذا التصميم متطابق مع دوائر الرياح باثنين وثلاثين قطاعاً، والتي كان يستخدمها الملاحون العرب لتحديد اتجاهاتهم بواسطة بزوغ وأفول النجوم (باريس، المكتبة الوطنية، المقالة ٢٢٧٣، نسخ بعد إذن مشكور من مدير المكتبة الوطنية).

نشير أخيراً إلى أن أي تصميم جديد في الجغرافيا المقدسة لم يظهر في أي عمل معروف تم وضعه بعد القرن السادس عشر.

### تحديد القبلة بالوسائل الرياضية<sup>(٤)</sup>

حدد الفلكيون المسلمون القبلة كاتجاه لدائرة كبرى مارة في مدينة مكة، ويتم قياس هذا الاتجاه بالزاوية المحددة بين خط زوال مكة وخط الزوال المحلي (انظر الشكل رقم (٤ - ٦)). وابتداءً من القرن التاسع، أجروا حساب اتجاه مكة لمناطق مختلفة. وتتطلب مثل هذه الحسابات معرفة خطوط العرض والطول، المأخوذة في البدء من جغرافية بطليموس. كما تتضمن أيضاً تطبيقاً لصيغ من حساب المثلثات أو لإنشاءات هندسية معقدة، طورها المسلمون بدمج طرق يونانية وهندية. إن العمل الذي أتمه الفلكيون المسلمون في هذا المجال معروف بشكل لا بأس به في المصنفات الحديثة، فلقد تمت بشكل جيد دراسة وتحليل المحتوى الرياضي لطرق العديد من فلكيي القرون الوسطى.

(٤) حول أتمم العمليات الرياضية لتحديد القبلة، انظر: David A. King, «The Earliest Islamic Mathematical Methods and Tables for Finding the Direction of Mecca», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*, Bd. 3 (1986), pp. 82 - 149, with corrections in: *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 4 (1987). هناك دراسات أخرى حول طرق علماء معينين موجودة في: Edward Stewart Kennedy and Y. Id., «A Letter of al-Bīrūnī: Ḥabāsh al-Ḥālib's Analéma for the Qibla», *Historia Mathematica*, vol.1 (1974), pp. 3 - 11, reprinted in: Edward Stewart Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences* (Beirut: American University of Beirut, 1983), pp. 621 - 629; Karl Schoy: «Abhandlung des al-Ḥasan Ibn al-Ḥasan Ibn al-Ḥaitham (al-Ḥazm) über die Bestimmung der Richtung der Qibla», *Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft*, Bd. 75 (1921), pp. 242 - 253, and «Abhandlung von al-Faḡl b. Ḥakīm al-Nayrizī über die Richtung der Qibla», *Sitzungsberichte der math. -phys. Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München* (1922), pp. 55 - 68; J. L. Berggren: «A Comparison of Four Analémias for Determining the Azimuth of the Qibla», *Journal for the History of Arabic Science*, vol.4, no.1 (Fall 1980), pp. 49 - 80; «On al-Bīrūnī's Method of the Zijes for the Qibla», paper presented at: *Proceedings of the XVI<sup>th</sup> International Congress for the History of Science* (Bucharest: [n. pb.], 1981), pp. 237 - 245, and «The Origins of al-Bīrūnī's Method of the Zijes in the Theory of Sundials», *Centaurus*, vol. 28 (1985), pp. 1 - 16. هناك دراسة أ. دلال (A. Dallal)، التي ستظهر حول معالجة ابن الهيثم الشاملة لمسألة القبلة بواسطة أحمد دلال، «Al-Bīrūnī on Climata», *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 34 (1984), pp. 3 - 18.



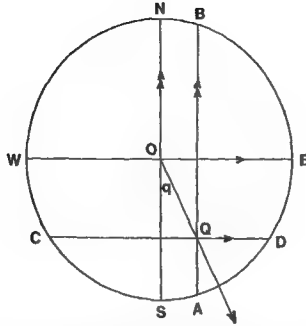
الشكل رقم (٤ - ٦)

مسألة القبلة على الكرة الأرضية. يرمز  $X$  إلى موقع ما،  $M$  إلى مكة،  $N$  إلى القطب الشمالي، الدائرة  $AB$  ترمز إلى خط الاستواء. خطوط عرض  $X$  و  $M$  هي  $\varphi$  و  $\varphi_M$ ، فرق خط الطول بين الموقع ومكة هو  $AB = \Delta L$ . تحدد الزاوية  $AXM$  القبلة  $q$ .

ويتضمن أغلب الموجزات الفلكية الإسلامية، المزودة بجداول (معروفة باسم الزيج وموضوعة وفق نموذج المجسطي والجداول المسيرة لبطلميوس)، فصلاً حول تحديد القبلة بواسطة مثل هذه العمليات الرياضية. كذلك وضعت مؤلفات مستقلة تتعلق فقط بمسألة القبلة. وكانت الحلول الأولى لهذه المسألة، والتي تعود إلى القرن التاسع إن لم يكن إلى القرن الثامن، تقريبية، ولكنها كانت كافية لتحديد القبلة بحيث لا تتجاوز قيمة الخطأ درجة أو درجتين، وذلك في أماكن بعيدة عن مكة كمصر وإيران.

تتطلب إحدى أقدم الطرق لتحديد القبلة، والمستوحاة من علم رسم الخرائط، تصوير المكان موضوع البحث ومكة على شبكة متعامدة مستوية من خطوط الطول والعرض. وتتطلب كذلك قياس اتجاه المقطع الذي يصل النقطتين (انظر الصورة رقم (٤ - ٧)). كما أن طرقاً رياضية تقريبية أخرى، بالإضافة إلى طريقة دقيقة ومعقدة، قد أخذت من الهندسة الفراغية، إلا أن أيّاً منها لم يستخدم بشكل واسع في القرون اللاحقة.

هناك طريقة أخرى تقريبية ذكرها البتاني، استخدمت بشكل واسع وبقيت رائجة حتى القرن التاسع عشر، ولا يمكن تصور طريقة أخرى أبسط منها. لنرسم أولاً دائرة على مستو أفقي ونبين الاتجاهات الأصلية (انظر الشكل رقم (٤ - ٧)) نرسم بعد ذلك خطاً موازياً لخط



الشكل رقم (٤ - ص)

حل تقريبي لمسألة القبلة للبتاني. على دائرة الأفق NESW، يمثل SA فرق خط الطول  $\Delta L$  و ED فرق خط العرض  $\Delta\phi$ . المقطعان AB و CD مرسومان بشكل متوازي مع NS و EW على التوالي، ويقاطعان في Q: تمثل OQ عندئذ القبلة.

الشمال - الجنوب، على مسافة زاوية تقاس على الدائرة وتساوي فرق خط الطول  $\Delta L$  بين مكة والمكان المذكور. ونرسم خطاً آخر موازياً لخط الشرق - الغرب على مسافة زاوية تساوي فرق خط العرض  $\Delta\phi = \phi - \phi_M$ . إن الخط، الذي يجمع مركز الدائرة مع تقاطع هذين الخطين، يحدد القبلة q. هذه العملية هي معادلة لتطبيق الصيغة البسيطة:

$$\operatorname{tg} q = \sin \Delta L / \sin \Delta\phi$$

وذلك من أجل تحديد القبلة.

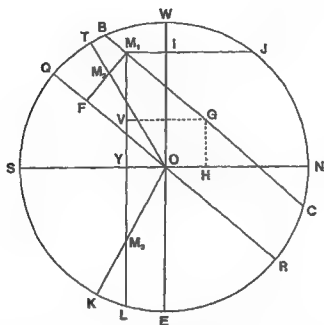
وقد أعدت في القرن التاسع والعاشر للميلاد عمليات دقيقة معقدة بواسطة الهندسة المستوية أو الهندسة الفراغية، أو بواسطة حساب المثلثات الكروي. فقد عالج أغلب علماء القرون الوسطى مسألة مكة كمسألة في الفلك الكروي، حيث ينبغي تحديد السمات لسمت الرأس الخاص بمكة على الأفق المحلي (انظر الشكل رقم (٤ - أ)). في هذه العمليات يجب أولاً تحديد ارتفاع سمت الرأس الخاص بمكة، ومن ثم يصبح تحديد سمتها مسألة كلاسيكية في علم المثلثات الكروي. إن جميع هذه الطرق، في نهاية المطاف، معادلة لتطبيق الصيغة الحديثة لظل التمام في حساب المثلثات الكروي، الذي يعطينا:

$$\operatorname{cotg} q = \{ \sin \phi \cos \Delta L - \cos \phi \operatorname{tg} \phi_M \} / \sin \Delta L.$$





تكون إذاً مسقط سمت الرأس الخاص بمكة على المستوي الاستوائي. يضاف إلى ذلك أن  $M_1$  يشكل على هذا السطح مسقط المقنطرة (دائرة بارتفاع متساو) المارة بسمت الرأس الخاص بمكة، ونصف قطرها هو  $II$ . إن  $M_1$  ولا، علاوة على ذلك، يقيسان على التوالي المسافات من سمت الرأس الخاص بمكة إلى أول متعامدة، وإلى الخط الذي يجمع سمت الرأس المحلي مع النقطة  $O$ . أخيراً، باعتبار مستوي الشكل كمنسوبٍ للأفق، وبمقتضى البناء، تكون النقطة  $M_0$  هي مسقط سمت الرأس الخاص بمكة على هذا المستوي، بحيث يحدد امتداد  $OM$  القزلة فعلاً.



الشكل رقم (٤ - ٩)

رسم بياني يمثل حل مسألة القبة الذي عرضه حبش الحاسب، هنا النموذج من الحلول، الذي أخذه المسلمون من مصادر يونانية، معروف باسم *analemma*. إن مختلف المستويات، أي مستوي خط الزوال وخط الاستواء السماوي والأفق، تتمثل جميعها على مستوي واحد، أي مستوي الشكل.

وقد تم حل مسألة القبلة، من جهة أخرى، بواسطة حساب المثلثات الكروي (انظر الفصل الخامس عشر: علم المثلثات). فقد اقترح التيريزي (أقام في بغداد، حوالي سنة ١٩٠٠م) الحل التالي الذي يستخدم أربعة تطبيقات لمبرهنة منلاوس (Menelaos)، التي يمكن وصفها بأنها غير عملية. على الشكل رقم (٤ - أ) يجري على التوالي البحث عن الأقواس  $SR$ ،  $Z_0K$  و  $KS$ . نحدد أولاً  $TR$  متعينين  $SRE$  كقاطم للمثلث  $TPQ$ . لدينا:

$$\sin PS / \sin SQ = [\sin PR / \sin RT] \cdot [\sin TE / \sin EQ],$$

أي:

$$\sin (180^\circ - \varphi) / \sin (90^\circ - \varphi) = [\sin (90^\circ + TR) / \sin TR] \cdot [\sin (90^\circ - \Delta L) / \sin 90^\circ]$$

ثم نحدد SR معتبرين QTE كقاطع للمثلث RSP. لدينا:

$$\sin PQ / \sin QS = [\sin PT / \sin TR] \cdot [\sin ER / \sin ES],$$

أي:

$$\sin 90^\circ / \sin (90^\circ - \varphi) = [\sin 90^\circ / \sin TR] \cdot [\sin ER / \sin 90^\circ],$$

من هنا نستخلص ER و  $SR (= 90^\circ - ER)$ .

ثم نحدد Z<sub>M</sub>K (= h) معتبرين SRK كقاطع للمثلث Z<sub>M</sub>ZP. لدينا:

$$\sin SP / \sin SZ = [\sin PR / \sin RZ_M] \cdot [\sin Z_MK / \sin KZ],$$

أي:

$$\sin (180^\circ - \varphi) / \sin 90^\circ = [\sin (90^\circ + TR) / \sin (TR + \varphi_M)] \cdot [\sin Z_MK / \sin 90^\circ].$$

أخيراً، نحدد KS (= q)، معتبرين SZP كقاطع للمثلث Z<sub>M</sub>RK. لدينا:

$$\sin KS / \sin SR = [\sin KZ / \sin ZZ_M] \cdot [\sin Z_MP / \sin PR],$$

أي:

$$\sin q / \sin SR = [\sin 90^\circ / \sin (90^\circ - h)] \cdot [\sin (90^\circ - \varphi_M) / \sin (90^\circ + TR)].$$

استخدم الفلكيون المسلمون فيما بعد أيضاً قاعدة الجيوب وقاعدة الظلال لحل المسألة بطريقة هي من حيث الأساس مشابهة للسابقة. وكانت العملية الأكثر شيوعاً، والتي تستعين بحساب المثلثات الكروي، معروفة باسم «طريقة الزيج». وقد ذكرت في العديد من الأعمال، من القرن التاسع إلى القرن الخامس عشر. وتتطلب ببساطة تحديد السمات لسمت الرأس الخاص بمكة على خط الزوال ثم على خط الأفق المحلي. فعلى الشكل رقم (٤ - ٨)، نرسم EZ<sub>M</sub>F المتعامد مع خط الزوال، ونحدد بذلك  $\Delta L' = Z_MF$  و  $QF = \varphi'$ ، وهما المسميان على التوالي باختلاف خط الطول المصحح وخط العرض المصحح. ونجد هاتين القيمتين بواسطة تطبيقين متوالين لقاعدة الجيوب، كما يلي: من المثلثات قائمة الزاوية Z<sub>M</sub>FP و TQP نستخلص:

$$\sin Z_MF / \sin TQ = \sin Z_MP / \sin TP,$$

أي:

$$\sin \Delta L' / \sin \Delta L = \sin (90^\circ - \varphi_M) / \sin 90^\circ.$$

من المثلثات قائمة الزاوية FQE و Z<sub>M</sub>TE، نستخلص:

$$\sin FQ / \sin Z_M T = \sin FE / \sin Z_M E,$$

أي:

$$\sin \varphi' / \sin (90^\circ - \varphi_M) = \sin 90^\circ / \sin (90^\circ - \Delta L').$$

ثم نحدد  $\Delta \varphi' = \varphi - \varphi'$ ، المسمى فرق خط العرض المصحح. نشير إلى أن Z<sub>M</sub>F و FZ هي إحداثيات Z<sub>M</sub> بالنسبة إلى سمت الرأس Z على خط الزوال. نحدد بعد ذلك Z<sub>M</sub>K = h وأخيراً q = KF، وذلك مرة أخرى بتطبيق مكرر لقاعدة الجيوب نفسها، كما يلي. من المثلثات قائمة الزاوية Z<sub>M</sub>KE و FSE، نستخلص:

$$\sin Z_M K / \sin FS = \sin Z_M E / \sin FE,$$

أي:

$$\sin (90^\circ - h) / \sin (90^\circ - \Delta \varphi') = \sin (90^\circ - \Delta L') / \sin 90^\circ.$$

ومن المثلثات قائمة الزاوية KSZ و Z<sub>M</sub>FZ، نستخلص:

$$\sin KS / \sin Z_M F = \sin KZ / \sin Z_M Z,$$

أي:

$$\sin q / \sin \Delta L' = \sin 90^\circ / \sin (90^\circ - h).$$

وقد أثار بعض الفلكيين كابن يونس (أقام في القاهرة، حول سنة ٩٨٠م) حلولاً بواسطة طرق إسقاطية. في حين أن آخرين كأبي الوفاء (أقام في بغداد، حول سنة ٩٧٥م) أثروا حلولاً بواسطة حساب المثلثات الكروي. وقد كتب ابن الهيثم (أقام في القاهرة، حول سنة ١٠٢٥م) مؤلفين حول القبلة، حيث يعالج هذين الصنفين من الحلول. ويرتدي حله الشامل لمسألة القبلة بـ «طريقة الزيج»، حيث يدرس بشأنها ١٦ حالة ممكنة، أهمية رياضية بالغة. كما اقترح البيروني (أقام في آسيا الوسطى حول ١٠٢٥م) هذين الصنفين من الحلول.

وقد رصد الفلكيون منذ بداية القرن التاسع، وفي آن واحد، الخسوف في بغداد ومكة، من أجل قياس فرق خط الطول بين هاتين المدينتين، وذلك بهدف واضح هو تحديد القبلة في بغداد. وقد كرس البيروني مؤلفاً كاملاً لتحديد القبلة في مدينة هزنة

(حالياً في أفغانستان)<sup>(٥)</sup>، إذ استخدم طرقاً عديدة متنوعة لقياس فرق خط الطول بين مكة وغزنة، وأخذ المعدل الوسطي للتأخير، ثم أجرى بعد ذلك حساب القبلة بواسطة عمليات مختلفة دقيقة. ويعتبر مؤلفه أثراً نموذجياً في الجغرافيا الرياضية وفي المنهج العلمي.

وبابتداءً من القرن التاسع، أجرى أيضاً فلكيون مسلمون حساب جداول لتحديد القبلة تبعاً لخط العرض والطول الأرضيين<sup>(٦)</sup>، وقد بني بعض الجداول على صيغ تقريبية، في حين بني بعضها الآخر على صيغة دقيقة. وهناك نحو ثمانية جداول مختلفة معروفة من خلال المصادر المخطوطة، ويعود أحد هذه الجداول إلى ابن الهيثم، لكن لم يتمس تحديدته حتى الآن. وتبين الصورة رقم (٤ - ٥) مقطعاً مأخوذاً من أحد أهم هذه الجداول، والذي وضعه الحليلي، حاسب الوقت المحترف (موقت) في مسجد بني أمية في دمشق في القرن الرابع عشر. نذكر كذلك أن وجود جداول الإحداثيات الجغرافية كان الطابع المميز لجميع الموجزات الفلكية العربية. وغالباً ما كانت هذه الجداول تتضمن قيم إحداثيات الكعبة بالنسبة إلى أي موقع.

إن المؤلفات الإسلامية حول استخدام الآلات كالأسطرلاب وأنواع مختلفة من الربيعات، تتضمن عادة فصلاً حول البحث عن القبلة بواسطة الآلة موضوع البحث<sup>(٧)</sup>.

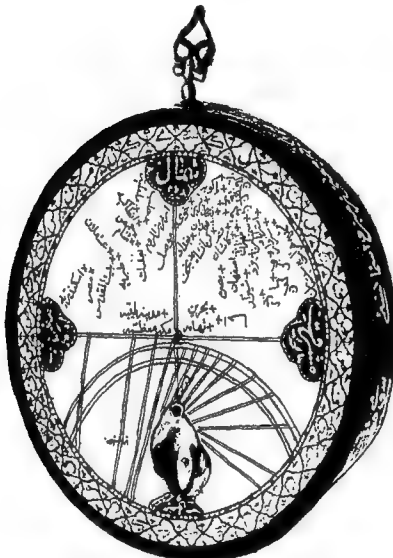
(٥) Abu al-Rayhan Muhammad Ibn Ahmad al-Bīrūnī, *Tahdīd al-amākin*, édition: انظر: (٥) critique par P. G. Bulgakov (Le Caire: Majallat al-Makhtūtāt al-'Arabiyya, 1962); english translation: *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities*, a translation from the arabic of al-Bīrūnī's *Kitāb Tahdīd al-amākin Itashih masā'il al-masākin* by Jamil Ali, Centennial Publications/American University of Beirut (Beirut: American University of Beirut, 1967), and Edward Stewart Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Tahdīd al-Amākin: An 11<sup>th</sup> Century Treatise on Mathematical Geography* (Beirut: American University of Beirut, 1973).

(٦) حول الجداول المخصصة لتحديد القبلة في القرون الوسطى، انظر: King, «The Earliest Islamic Mathematical Methods and Tables for Finding the Direction of Mecca», pp. 82 - 149; David A. King, «Al-Khāṣṣī's Qibla Table», *Journal of Near Eastern Studies*, vol. 34, no. 2 (April 1975), reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XIII, and Richard P. Lorch, «The Qibla - Table Attributed to al-Khāṣṣī», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 4, no. 2 (Fall 1980), pp. 259 - 264.

(٧) حول الآلات التي تسمح بتحديد القبلة، انظر: Richard P. Lorch, «Nagī b. 'Abdallāh's Instrument for Finding the Qibla», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6, nos. 1 - 2 (1982), pp. 123 - 131; Louis Janin and David A. King, «Ibn al-Shāṭir's *Ṣanā'iq al-Yawāqit*: An Astronomical «Compendium»», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 1, no. 2 (November 1977), pp. 187 - 256, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XII, and David A. King, «Osmantische Astronomische Handschriften und Instrumente», in: *Türkische Kunst und Kultur der Osmanischen Zeit* (Recklinghausen: Verlag Aurel Bongers, 1985), vol. 2, pp. 373 - 378, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XIV.



وابتداء من القرن الرابع عشر، انتشرت علب البوصلة، التي كانت تحمل لوائح بالأماكن مع اتجاهات القبلة الخاصة بها، أو تصويراً خرائطياً بسيطاً للعالم حول مكة (انظر الصورة رقم (٤ - ٦)). وقد لقي هذا النوع من الاختراعات مجداً اهتماماً لافتاً في السنوات الأخيرة، فقد حصلت الخطوط الجوية السعودية على مليون علب للقبلة من مؤسسة سويسرية لتوزيعها على المسافرين على خطوطها.



الصورة رقم (٤ - ٦)

آلة لتحديد القبلة صادرة بوجه الاحتمال من إيران (القرن السابع عشر - القرن الثامن عشر). على النصف الأعلى من الميناء تم تحديد مواقع العديد من الأماكن نسبة إلى مكة التي تقع في الوسط؛ على النصف الأدنى توجد مزولة أفقية خاصة بخيط عرض غير محدد (صورة قدمها مشكوراً متحف تاريخ العلوم، أوكسفورد).

ومن الطبيعي أن تكون دقة قيمة إحداثيات قبلة، تم حسابها لموقع معين بطريقة رياضية صحيحة، مرتبطة بدقة المعطيات الجغرافية المتوفرة. وصفة الدقة هنا مرتبطة بمعايير التقويم المستخدمة. وكان الخطأ في تحديدات القرون الوسطى لحظ العرض، في العادة، لا يتجاوز بضع دقائق. إلا أن تقديرات فروقات خط الطول بين مكة والأماكن المختلفة كان يصل الخطأ فيها أحياناً إلى عدة درجات. ففي القاهرة مثلاً، تقع القبلة المحددة حديثاً على حوالى ثماني درجات أكثر إلى الجنوب من القبلة التي حددها فلكيو القرون الوسطى، لأن هؤلاء استندوا إلى قيمة لفرق خط الطول هي في الواقع صغيرة جداً، إذ اعتبروا أنها تساوي ثلاث درجات.

ومن الواضح تماماً، وبناءً على اتجاه المساجد المشيدة ما بين القرنين السابع والتاسع عشر، أنه لم تتم دائماً استشارة الفلكيين بصدد القبلة. وما لا شك فيه أن بعض المساجد موجه بالفعل وفق القبلة التي حددها الفلكيون في الأماكن موضوع البحث، إلا أن عدد مثل هذه المساجد ضئيل جداً.

### حول اتجاه العمارة الدينية الإسلامية

تختلف اتجاهات المساجد في منطقة واحدة من العالم الإسلامي، والسبب في ذلك يعود، إلى حد ما، إلى اختلاف اتجاهات القبلات المقترحة في المصادر المتنوعة. لكن اختلاف اتجاه المساجد له أسباب أخرى في بعض المناطق.

ففي قرطبة مثلاً، وكما نعرف من خلال مؤلف من القرن الثاني عشر حول الأسطrolab، شيدت بعض المساجد باتجاه شروق الشمس في الانقلاب الشتوي، لأن الاعتقاد السائد آنذاك، أنه، وبهذه الطريقة تكون أسوار المساجد، لجهة القبلة، موازية للسرور الشمالي - الغربي من الكعبة. فقد كانت بعض السلطات تعتقد أن هذا السرور مواجه لشروق الشمس في الانقلاب الشتوي. والمسجد الكبير في قرطبة موجه وفق اتجاه متعامد مع اتجاه شروق الشمس في الانقلاب الصيفي، وذلك عائد إلى السبب نفسه. إن محوره الشرقي، في الواقع، مواز لمحور الكعبة، وهذا ما يفسر اتجاه هذا المسجد نحو الصحارى الجزائرية، بدل أن يكون موجهاً نحو صحارى شبه الجزيرة العربية.

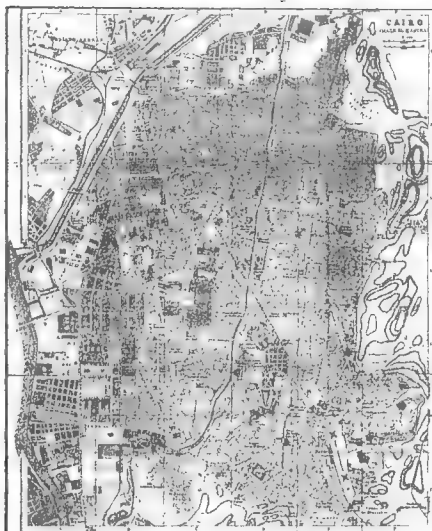
وكما ذكرنا سابقاً، شيد أقدم مسجد في مصر، وهو مسجد عمر في القسطنطينية، باتجاه شروق الشمس في الانقلاب الشتوي. وقد بنيت المدينة الجديدة، القاهرة، في نهاية القرن العاشر، على بضعة كيلومترات إلى الشمال من القسطنطينية، وفق تصميم للطرق متعامد



تقريباً، على امتداد القناة التي تصل النيل بالبحر الأحمر. وفي الواقع، إنها لمصادفة حقاً أن تكون القناة، التي بناها في الأصل المصريون القدماء ثم رجمها الرومان ومن بعدهم المسلمون، تقطع المدينة الجديدة وفق اتجاه متعامد مع قبلة مسجد الصحابة في القنطرة. وهكذا، فالمدينة بأكملها موجهة وفق قبلة الصحابة (حوالي 27° نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق). إلا أن الفاطميين، الذين بنوا المدينة، لم ينتهوا إلى هذه الميزة التي تتمتع بها مدينتهم. لذلك نجد أن الفلكي الفاطمي ابن يونس قد حدد بطريقة رياضية أن القبلة هي تقريباً على 37° نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق. نتيجة لذلك، فقد شيدت المساجد الفاطمية الأولى في القاهرة، أي مسجد الخليفة الحاكم والمسجد الأزهر، وفق اتجاه يحدد مع اتجاه مخطط شوارع المدينة زاوية بقيمة 10° (انظر الصورة رقم ٤ - ٧). وفي العديد من الصروح الدينية اللاحقة المشيدة في المدينة القديمة، والعائلة إلى العصر المملوكي (من القرن الثالث عشر إلى القرن السادس عشر)، نجد الاتجاه الخارجي للبناء متوافقاً على قبلة الصحابة وعلى تصميم الشوارع، بينما الداخل منحرف بشكل يكون فيه المحراب موجهاً وفق قبلة الفلكيين. وفي ضاحية من القاهرة، اسمها قرافة، نجد المحور الرئيس لهذه الضاحية، والمساجد المختلفة الواقعة على امتداد هذا المحور، جميعها موجهة نحو الجنوب، لأنه كان الاتجاه المفضل للقبلة. وأما «مدينة الأموات»، التي بناها المالكي في الغرب من القاهرة، فهي منظمة بشكل تكون فيه جميع الأضرحة موجهة وفق قبلة الفلكيين، في الداخل والخارج معاً؛ كما أن تصميم الطرق للتعامل تقريباً هو أيضاً موجه وفق هذه القبلة الخاصة.

وفي سمرقند، وكما نعرف من مؤلف فقهي من القرن الحادي عشر للميلاد، فإن المسجد الرئيس موجه نحو غروب الشمس في الانقلاب الشتوي، بحيث يتجه نحو السور الشمالي الشرقي من الكعبة. وكما ذكرنا سابقاً، فقد أثرت مدرسة فقهية معينة الغرب الحقيقي كاتجاه للقبلة، كما أثرت أخرى الجنوب الحقيقي. ونستطيع، دون شك، أن نجد صروحاً دينية مرتبطة بهاتين المدرستين اللتين تعكسان هذا الاختلاف في الآراء. كما كان بعض الصروح الدينية في المدينة أيضاً موجهاً وفق القبلة التي حددها الفلكيون.

ولم نجر حتى الآن سوى دراسة تمهيدية واحدة حول اتجاهات المساجد، تم إعدادها بالاستعانة بأكثر من ألف تصميم متوفر في المصنفات العلمية الحديثة. غير أن أغلب هذه التصميمات لم يتم التحقق منها. لذلك يتعذر الحصول على أية خلاصة من مثل هذه المعطيات. ومن الواضح أن دراسة مخصصة لاتجاه المساجد في كل أنحاء العالم الإسلامي سيكون لها أهمية تاريخية بالغة. ويفترض بمثل هذه الدراسة ألا تقتصر على القياس الدقيق لاتجاه جميع المساجد والمدارس والأضرحة وغيرها من الصروح الدينية، بالإضافة إلى المقابر، بل يجب أيضاً أن تأخذ مواقع الألق للحل بعين الاعتبار، وذلك من أجل السماح بالتحقق من اتجاهات فلكية محتملة. كما يجب تحديد جميع القياسات بالدقة نفسها التي تم التوصل إليها في الأبحاث الأثرية - الفلكية التي أجريت في أجزاء أخرى من العالم.



الصورة رقم (٤ - ٧)

مخطط مدينة القاهرة في القرون الوسطى، يمثل مسجد الحاكم والمسجد الأزهر، اللذين يملكان محورين متحرفين بقيمة 10° تقريباً بالنسبة إلى تصميم الطرق في المدينة الفاطمية، التي تأسست قبل بضع سنوات في العام ٩٦٩ م. تم توجيه المسجدين وفقاً لقبلية الفلكيين (حوالي 37° نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق)، في حين أن المحور الصغير للمدينة موجه وفقاً لقبلية الصحابة الذين فتحوا مصر، أي نحو شروق الشمس في الانقلاب الشتوي (حوالي 27° نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق). لاحقاً شيدت «مدينة الأمراء» المملوكية بأكملها وفق كعبة الفلكيين. تقع قبلة القاهرة المحددة حديثاً حل 45° تقريباً نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق، لكن لا علاقة لهذا الأمر مع مسألة اتجاه المساجد في القرون الوسطى.

## القسم الثاني: صناعة المزاوِل: نظرية وتركيب المزاوِل<sup>(٨)</sup>

### مدخل

تجلبى الانتباه الذي أعاره المسلمون لقياس الوقت ولتحديد أوقات الصلاة (انظر القسم الثالث: علم الميقات) في اهتمامهم إلى حد الشغف بصناعة المزاوِل<sup>(٩)</sup>. وساهم الفلكيون المسلمون بشكل جوهري في هذا العلم من التاحيتين النظرية والتطبيقية معاً. ولقد وجدت مزاوِل بأشكال مختلفة، في نهاية القرون الوسطى، في أغلب المساجد الكبرى في العالم الإسلامي.

اكتشف المسلمون المزاوِل إبان توسعهم في العالم اليوناني - الروماني في القرن السابع. ففي دمشق حوالي سنة ٧٠٠م، كان الخليفة عمر بن عبد العزيز قد استخدم مزولة لتحديد أوقات الصلاة النهارية بواسطة ساعات زمنية. وكانت على الأرجح مزولة يونانية - رومانية قديمة وجدها في المدينة.

وفي العصور القديمة، كانت الأشكال الأكثر شيوعاً للميناء هي شكلي الميناء نصف الكروي والميناء المسطح. ولا شك أن العلماء المسلمين الأوائل الذين عالجوا علم الفلك الرياضي، كانوا يعرفون أمثال هذه المزاوِل. لكن الفزاري ويعقوب بن طارق، اللذين عملا في هذا المجال في القرن الثامن، لم يكتبوا عن المزاوِل، بحسب ما نعرفه.

### أقدم النصوص في صناعة المزاوِل

إن أقدم مؤلف عربي عن المزاوِل حفظته الأيام، هو كتاب يعالج صنعتهما، وقد تم اكتشافه منذ عشر سنوات فقط. وذكر فيه أن مؤلفه هو الخوارزمي، الفلكي الذائع الصيت الذي عمل في بلاط الخليفة في بغداد في بداية القرن التاسع. ويتألف هذا العمل بشكل

---

(٨) أي الساعات الشمسية.

(٩) من أجل نظرة عامة، انظر:

Karl Schoy: «Gnomonik der Araber», in: انظر: Karl Schoy: «Gnomonik der Araber», in: Ernst von Bassermann - Jordan, ed., *Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren* (Berlin; Leipzig: Vereinigung Wissenschaftlicher Verleger, W. De Gruyter, 1920 - 1925), Bd. 1F, et «Sonnenuhren der Spätarabischen Astronomie», *Istis*, vol. 6 (1924), pp. 332 - 360.

حول الجداول لصناعة المزاوِل، انظر دراستي التي ستظهر بعنوان: «Survey of Islamic Tables for Sundial Constructions».

رئيسي من مجموعة جداول إحداثيات بهدف صناعة المزاوِل الأفتية بخطوط عرض مختلفة (بما فيها خط الاستواء)<sup>(١٠)</sup>.

إن الرياضيات الأساسية المستخدمة في هذا المؤلف سهلة نسبياً، وإن كانت الطريقة التي تم بها حساب الجداول دقيقة، إلا أنها تحتاج إلى الشرح. وبما أن القيمتين،  $h$  التي تمثل ارتفاع الشمس و  $a$  المائلة للسمت، تتحددان تبعاً لمتاليات موافقة من خطوط طول الشمس ومن فواصل زمنية، فإن الإحداثيات نصف القطرية لنقاط تقاطع الخطوط الساعية مع آثار الظلال هي ببساطة  $(a, \cot g h)$ ، حيث  $h$  هي طول شاخص المزولة (انظر الشكل رقم (٤ - ١٠)). إن كل جدول من جداول الخوارزمي، موضوع لخط عرض معين، يقدم لكل من الانتقالين القيم الثلاث التالية: ارتفاع الشمس، ظل شاخص المزولة المعياري (١٢ وحدة)، - سمت الشمس، أي المجموعة الثلاثية  $(h, s, a)$  لكل ساعة زمنية من النهار (انظر الصورة رقم (٤ - ٨)). مع هذه الإحداثيات نصف القطرية التي تمت جدولتها، لا بد أن تكون صناعة المزولة قد أصبحت تقريباً عملاً روتينياً. لذلك نستطيع أن نفترض أن مزاوِل قد صنعت بالفعل بواسطة هذه الجداول، دون أن تحفظ الأيام أية واحدة منها، زد على ذلك أننا لا نجد في المصادر التاريخية لذلك العصر وصفاً لأي منها.

ولقد كتب الفلكي والرياضي الشهير ثابت بن قرة (الذي أقام في بغداد، حوالي سنة ٩٠٠م) عملاً شاملاً عن نظرية المزولة، سلم في مخطوطة وحيدة. إنه تحفة في الكتابة الرياضية، إلا أنه قليلاً ما أثار انتباه مؤرخي العلوم، منذ نشره في الثلاثينيات من هذا القرن. يعالج مؤلف ثابت هذا تحويل الإحداثيات بين مختلف الأنظمة المتعامدة المبينة على ثلاثة مستويات: (١) الأفق، (٢) خط الاستواء السماوي، (٣) مستوي المزولة. والمستوي الأخير هذا يمكن أن يكون مستوي الأفق (a)، أو مستوي خط الزوال (b)، أو مستوي أول متسامتة (c)؛ كما يمكن أن يكون المستوي (d) عمودي على (b) ومنحرف على (c)؛ أو المستوي (e) عمودي على (c) ومنحرف على (b)؛ أو المستوي (f) عمودي على (a).

(١٠) حول جداول الخوارزمي المتعلقة بالمزاوِل، انظر: Boris A. Rosenfeld, *Muhammad Ibn Musa al-Khwarizmi* (Moscow: Nauka, 1983), pp. 221 - 234, and David A. King, «Al-Khwarizmi and New Trends in Mathematical Astronomy in the Ninth Century», *Occasional Papers on the Near East* (New York University, Hagop Kavorkian Center for Near Eastern Studies), vol. 2 (1983), especially pp. 17 - 22.

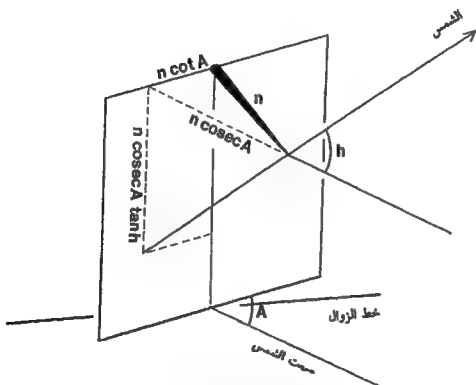
حول ثابت بن قرة، انظر: Karl Garbers, «Ein Werk Thābit b. Qurra's über ebene Sonnenuhren», *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik*, Abt. A, Bd. 4 (1936), pp. 1 - 80, and P. Luckey, «Thābit b. Qurra's Buch über die ebenen Sonnenuhren», *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik*, Abt. B, Bd. 4 (1937 - 1938), pp. 95 - 148.



Y. O.



ساعة زمنية من الوقت المتقضي منذ شروق الشمس في اللحظة T، ولكل  $30^\circ$  من خط طول الشمس  $\lambda$ . إن قيم الدالات معطاة حتى ثلاثة أرقام في النظام الستيني ومعدة حسابياً لخط عرض بغداد، الذي اعتبر مساوياً لـ  $33^\circ$ . وفي المؤلف مجموعة أخرى من الجداول تعطي قيم الدالات  $\sin \theta$  و  $\cotg \theta$  حتى ثلاثة أرقام في النظام الستيني لكل درجة من الحصة. إن الأساس المستخدم للدالة «sines» هو 10، وهذا غير اعتيادي على الإطلاق. لكنه يعني ببساطة، أن طول شاخص المزولة قد أخذ مساوياً لـ 10. وقد أعطي جدولان للدالة (cotangente)، أحدهما أساسه 10 والآخر 1. إن فائدة هاتين المجموعتين من الجداول لتكوين أزواج من الإحداثيات المتعامدة، المستخدمة في تخطيط المزاويل العمودية، بأي اتجاه بالنسبة إلى خط الزوال، هي واضحة. فمن الملاحظ أنه إذا كانت الشمس تملك سمتاً A بالنسبة إلى مزولة عمودية بشاخص عمودي وأفق طول n (انظر الشكل رقم (٤ - ١١))،



الشكل رقم (٤ - ١١)  
مبادئ نظرية أساسية لصناعة مزولة عمودية تشكل زاوية  
بالنسبة إلى خط الزوال المحلي.

فإن الإحداثيات المتعامدة لطرف ظل الشاخص، والتي تقاس بالنسبة إلى المحور الأفقي (x) وإلى المحور العمودي (y)، المارين بقاعدة الشاخص تكون  $(-n \cos A, n \operatorname{cosec} A \operatorname{tg} b)$ .

وعلى الرغم من أن العديد من الأعمال الهامة القديمة حول صناعة المزاول قد ضاع دون أن يترك أثراً، إلا أنه ما زال هناك العديد من المواد الأخرى القديمة التي تنتظر الدراسة.

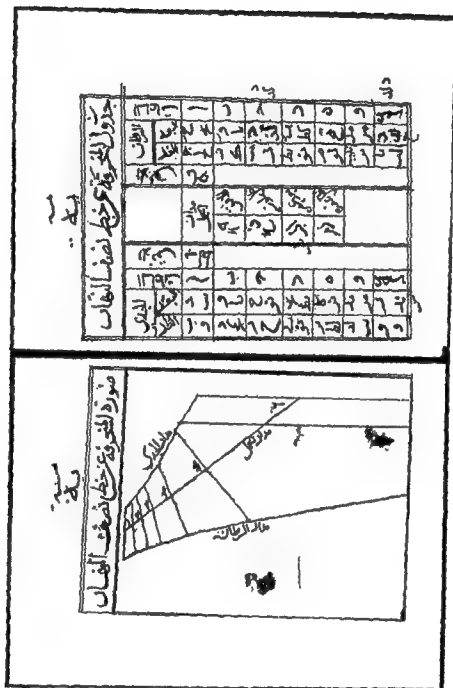
## نصوص متأخرة حول صناعة المزاول

إن أهم عمل حول نظرية المزولة، في المرحلة المتأخرة من علم الفلك الإسلامي، هو ملخص في علم الفلك الكروي والآلات الفلكية وعنوانه جامع المبادئ والغايات في علم الميقات، وقد اقتبس أبو علي المراكشي، وهو فلكي من أصل مغربي، عمل في القاهرة نحو العام ١٢٨٠م<sup>(١١)</sup>. ومن الصعب تقدير المساهمة الخاصة بالمراكشي في هذا العمل الضخم (المخطوطة الموجودة في باريس تتضمن ٧٥٠ صفحة). إن الأجزاء الطويلة حول نظرية المزولة مع جداول عديدة، موضوعة بشكل أساسي لاستخدامها في القاهرة. وتبدو هذه الأجزاء أصلية، لكننا لا نملك أية معلومات عن نصوص معربة سابقة محتملة تقارب نظرية المزولة. علاوة على ذلك، فإن المتسي (انظر أدناه) الذي كان ناشطاً في عصر المراكشي، كان مستقلاً عنه، هل ما يبدو.

مارس مؤلف المراكشي لاحقاً تأثيراً واسعاً في الأوساط الفلكية في مصر وسوريا وتركيا. وقد حل هذا المؤلف في العديد من النسخات المخطوطة. وعلى الرغم من أنه المصدر الأهم فيما يتعلق بالآلات الإسلامية، إلا أنه، وحتى الآن، لم يحصل من المؤرخين على الاهتمام الذي يستحقه. فقد نشر ج. ج. سيدنيو (J. J. Sédillot) في حوالى العام ١٨٣٤ - ١٨٣٥ ترجمة فرنسية للنصف الأول من العمل، الذي يعالج الفلك الكروي ونظرية المزولة. كما نشر ل. أ. ب. سيدنيو (L. A. P. Sédillot) الابن في العام ١٨٤٤ موجزاً مشوشاً إلى حد ما عن النصف الثاني الذي يعالج آلات أخرى.

(١١) حول مؤلف الخوارزمي، انظر: Abū 'Alī al-Ḥasan Ibn 'Alī al-Marrākshī, *Traité des instruments astronomiques des arabes composé au treizième siècle par Aboul Hassan Ali du Maroc...*, traduit de l'arabe par J. J. Sédillot et publié par L. A. Sédillot, 2 vols. (Paris: Imprimerie royale, 1834 - 1835), réimprimé (Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften, 1985), et L. A. Sédillot, «Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes», *Mémoires de l'Académie royale des inscriptions et belles - lettres de l'Institut de France*, vol. 1 (1844), pp. 1 - 229, réimprimé (Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften, 1985).





الصورة رقم (٤ - ٩)

مقطع من جداول القسي لصناعة المزاويل العمودية لخط عرض القاهرة.  
هذا الجدول الخاص أعد لانحراف قدره 15° على خط الزوال (القاهرة، دار الكتب،  
مقات ١٠٣، الورقتان ٦٨<sup>ط</sup> - ٦٩<sup>ط</sup>، تم نسخه بعد إذن مشكور من مدير المكتبة  
الوطنية المصرية).

إن دراسة المراكشي للمزاول، المزينة بشكل وافر بالرسوم البيانية، تركز على وصف طرق الصناعة. فلم يتم فيها التوسع في القاعدة النظرية، وهي لا تعطي أية إشارة إلى طريقة وضع الجداول العديدة. ويعالج النص المزولة الأفقية والمزولة العمودية والمزولة الأسطوانية والمزولة المخروطية، بالإضافة إلى ذلك هناك بحث للمزاول «بشكل أجنحة». في هذه الأخيرة تغطي التخطيطات سطحين مستويين متجاورين، يملكان محوراً مشتركاً في المستوي الأفقي أو العمودي. كما يتضمن العمل أيضاً وصفاً لمجموعة سلام ورسوم بيانية لقياس الظلال، ولتحويل الظلال الأفقية والعمودية، ولحساب المطالع. ويبدو أن الجهاز المعروف باسم «ميزان الفزاري» مرتبط بالفلكي الذي يحمل هذا الاسم والذي عاش في القرن الثامن للميلاد.

وقد اقتبس الفلكي القاهري المقسي، معاصر المراكشي، مجموعة من الجداول لصناعة المزاول التي كانت إلى حد ما شائعة بين الفلكيين المصريين اللاحقين. وقد وضع جداول لرسم المزاول الأفقية لخطوط عرض مختلفة. إلا أن الجزء الأكبر من مؤلفه يتشكل من جداول لرسم المزاول العمودية لخط عرض القاهرة. فقد وضع لكل درجة انحراف على خط الزوال المحلي، جدولاً لإحداثيات تقاطع خطوط الساعات الزمنية وللعصر مع آثار الظل في الاعتدالين والانقلابين (انظر الصورة رقم (٤ - ٩)). وبعد المراكشي والمقسي جمع العديد من الفلكيين جداول واسعة لصناعة المزاول لخطوط عرض معينة، وبخاصة لخطوط القاهرة ودمشق واسطنبول، وما زالت هذه الجداول تنتظر من يقوم بدراساتها.

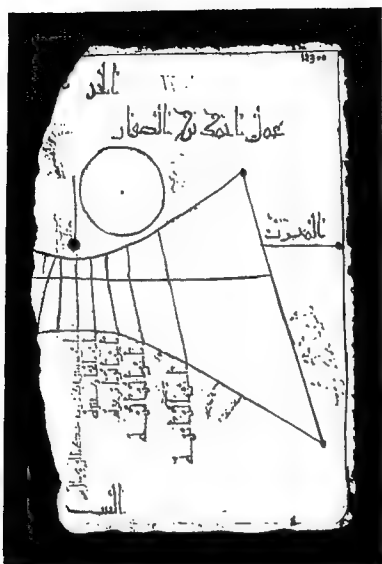
## المزاول

لم يبق من القرون الوسطى سوى بضع مزاول فقط، ولا بد أن الثابت بل الآلاف قد صنعت ابتداءً من القرن التاسع للميلاد. إلا أن الأغلبية الساحقة منها قد اختفت دون أن تترك أي أثر. وأغلب المزاول الباقية، والتي تمت صنعها قبل العام ١٤٠٠م، معروفة ومكتوبة عنها، مع ذلك لم توضع حتى الآن أية قائمة بهذه المزاول.

يحمل أغلب المزاول الإسلامية خطوطاً للساعات (زمنية أو اعتدالية) ولصلاتي الظهر والعصر. وبما أن بدء هاتين الصلاتين يتحدد بواسطة أطوال الظل (انظر القسم الثالث: علم الميقات)، لذلك كان تعيين أوقات الصلاة بواسطة المزولة ملائماً تماماً.

## المزاول الأفقية

إن أقدم مزولة إسلامية حفظتها الأيام (انظر الصورة رقم (٤ - ١٠))، هي من صنع ابن الصغار، الفلكي الشهير الذي عمل في قرطبة حوالي العام ١٠٠٠م. وقد سلم فقط



الصورة رقم (٤ - ١٠)

أقدم مزولة إسلامية محفوظة، صنعها حوال العام ١٠٠٠م في قرطبة ابن الصغار. يمكن فقط رؤية منحنى الظهر على هذا الجزء، لكن هناك أيضاً، على وجه الاحتمال، منحنيتان لبداية ونهاية العصر (صورة قدمها مشكوراً متحف الآثار لمنطقة قرطبة).

نصف الجهاز، إلا أن الباقي كان كافياً لإثبات أن صناعة المزاول لم تكن من اختصاص ابن الصفار. فالمزولة هي من الطراز الأفقي، وتتضمن خطوطاً لكل ساعة زمنية، وقد جاء بعضها متكسراً عند تقاطعه مع أثر الظل للاعتدال، والأثر بدوره غير مستقيم. كما أن هنالك خطأ لصلاة الظهر، ومن المفروض أن يكون هناك أيضاً خط للعصر. والشاخص مفقود، لكن طوله مبين بواسطة نصف قطر الدائرة المنقوشة على المزولة. إن العديد من المزاول الأندلسية الأكثر قديماً والتي بقيت، تعتبر شواهد ضعيفة على مهارة صناعتها. فالعديد منها مشوه بأخطاء جسيمة، وإحداها، ومن وجهة نظر عملية، غير قابلة للاستعمال إطلاقاً. ومع ذلك، فلا بد أن مزاول صحيحة قد صنعت في الأندلس في القرون الوسطى<sup>(١٢)</sup>.

إن المزولة التونسية في الصورة رقم (٤ - ١١) تعتبر عملاً أكثر إتقاناً من المزاول الأندلسية المذكورة أعلاه. فقد صنعتها في العام ١٣٤٥/١٣٤٦ م أبو القاسم بن الشداد. إنها تمثل فائدة تاريخية كبيرة، لأن خطوطها تعطي فقط ساعات النهار التي تحمل معاني دينية ولا تعطي الساعات الزمنية. أما لفترة ما بعد الظهر (الجهة اليمنى) فقد رسمت منحنيات الظهر والعصر بالتوافق مع التحديدات الشائعة في الأندلس والمغرب. وبالنسبة

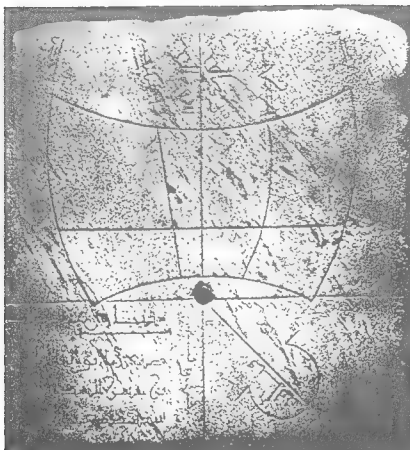
---

(١٢) حول المزاول الأندلسية، انظر: David A. King, «Three Sundials from Islamic Andalusia», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 2, no. 2 (November 1978), pp. 358 - 392, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XV.

ونولت المزولة التونسية في: David A. King, «A Fourteenth - Century Tunisian Sundial for Regulating the Times of Muslim Prayer», in: W. Saltzer and Y. Masyama, eds., *Prismata: Festschrift für Willy Hartner* (Wiesbaden: Franz Steiner, 1977), pp. 187 - 202, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XVIII.

حول مزولة ابن الشاطر، انظر: Louis Janin, «Le Cadran solaire de la Mosquée Umayyade à Damas», *Centaurus*, vol. 16, no. 4 (1972), pp. 285 - 298, reprinted in: Edward Stewart Kennedy and I. Ghanem, *The Life and Work of Ibn al-Shāṭir: An Arab Astronomer of the Fourteenth - Century* (Aleppo: Institute for the History of Arabic Science, 1976).

وصفت مزاول أخرى في القرون الوسطى في: P. Casanova, «La Montre du Sultan Noir ad-Dî», *Syria*, vol. 4 (1923), pp. 282 - 299; Louis Janin and David A. King, «Le Cadran solaire de la Mosquée d'Ibn Tūlūn au Caire», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 2, no. 2 (November 1978), pp. 331 - 357, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XVI; A. Bel, «Trouvailles archéologiques à Tlemcen: Un cadran solaire arabe», *Revue africaine*, vol. 49 (1905), pp. 228 - 231; Louis Janin, «Quelques aspects récents de la gnomonique tunisienne», *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée*, vol. 24 (1977), pp. 207 - 221, et Henri Michel et A. Ben - Elî, «Un cadran solaire remarquable», *Ciel et terre*, vol. 81 (1965).



الصورة رقم (٤ - ١١)

مزولة تونسية من القرن الرابع عشر للميلاد، حيث يشار إلى أربع ساعات من النهار،  
تملك معنى دينياً (ملكية المتحف الوطني في قرطاج؛ نسخة قدمها مشكوراً آلان بريو  
(Alain Brieux)، باريس).

الى الفترة الصباحية، فهناك منحني للضحى، متناظر مع منحني العصر نسبة إلى خط الزوال.  
كما أن هنالك خط للساعات الموافقة لنظام «التأهيب»، أي ساعة اعتدالية قبل الظهر، والنظام  
هذا مرتبط بالعبادة الجماعية يوم الجمعة. إن تناظر منحنيات الضحى والعصر على المزولة هو  
الذي يؤدي، وللمرة الأولى، إلى فهم تحديدات أوقات الصلاة النهارية في الإسلام. كما  
يظهر التفحص التنبيه للخطوط على المزولة، أن منحنيات انقلاب الشمس مرسومة كأقواس

دوائر وليس كخطوط زائدة. تشكل هذه المزولة إذاً، مثلاً ملفتاً عن التقليد، حيث كانت ترسم خطوط انقلاب الشمس، ذلك التقليد الذي يفترض أنه كان منتشرأ بشكل واسع في العصر الوسيط في الأندلس والمغرب.

وأما الفلكي ابن الشاطر، وهو رئيس الموقتين في جامع بني أمية في دمشق في منتصف القرن الرابع عشر، فقد صنع في العام ١٣٧١/١٣٧٢م مزولة أفقية رائعة قوامها متران على متر تقريباً (انظر الصورة رقم (٤ - ١٢)). وقد نصبت في باحة المسجد في الجهة الجنوبية من المئذنة الرئيسية للجامع، ولا تزال أجزاءها معروضة في حديقة المتحف الوطني في دمشق. وقد صنع الموقت الطنطاوي في العام ١٨٧٦م نسخة مطابقة للأصلية، ما زالت مستقرة أيضاً في مكانها على المئذنة. كما عملت ذرية طويلة للموقت في المسجد من القرن الرابع عشر حتى القرن التاسع عشر، واستخدمت على ما يبدو مزولة ابن الشاطر لتحديد أوقات الصلاة، كذلك استخدمت الجداول ومختلف الآلات التي كانت متوفرة لديها.

تملك مزولة ابن الشاطر ثلاث مجموعات أساسية من الخطوط. وفي الواقع، هناك ثلاث مزاويل منقوشة على البلاطة الرخامية. إن المزولة الصغيرة مع الشاخص الخاص بها، في الجهة الشمالية، تحمل خطوطاً للساعات الزمنية ولصلاة العصر. كما أن المزولة الصغيرة، في الجهة الجنوبية، تحمل خطوطاً للساعات الاستوائية لفترة ما قبل الظهر وما بعده، وكذلك لفترة ما بعد شروق الشمس وما قبل غروبها. إن شاخصها المتوازي مع محور القبة السماوية، مترافف ببراعة مع الشاخص الأكبر للمزولة الثالثة والرئيسية. وتحمل هذه المزولة الأخيرة خطوطاً مطابقة لفواصل زمنية من 20 إلى 20 دقيقة قبل الظهر وبعده، كذلك لفواصل من 20 إلى 20 دقيقة استوائية انطلاقاً من شروق الشمس حتى الظهر، وفواصل من 20 إلى 20 دقيقة قبل غروب الشمس انطلاقاً من الظهر. هناك أيضاً منحنيات موافقة لفواصل من 20 إلى 20 دقيقة حتى صلاة العصر انطلاقاً من ساعتين قبل الصلاة، كما أن هناك منحنيات للساعتين الثالثة والرابعة بعد الفجر وقبل هبوط الليل. أخيراً، هناك منحني للحظة الواقعة قبل فجر اليوم التالي بثلاث عشرة ساعة ونصف الساعة. وقد قال الطنطاوي إنه شخصياً قام بإضافة المنحني الأخير إلى مزولة ابن الشاطر.

وهكذا يمكن استخدام المزولة لقياس الوقت المتبقي بعد شروق الشمس في فترة الصباح، والوقت المتبقي للاقضاء قبل غروبها في فترة ما بعد الظهر، وكذلك الوقت قبل الظهر وبعده. وتقاس هذه المزولة الوقت بالنسبة إلى صلاتي الظهر والمغرب، ويسمح منحني العصر فيها بقياس الوقت بالنسبة إلى هذه الصلاة. كما تستخدم المنحنيات المرتبطة بهبوط الليل وقيام النهار لقياس الوقت بالنسبة إلى صلاتي العشاء والفجر، فعندما يقع الظل على هذه الخطوط، فعل للموقت أن يعرف مثلاً أن العشاء يبدأ بعد أربع أو ثلاث ساعات، كما يكون باستطاعته أن يرى كيف يكون مظهر السماء عند هبوط الليل بواسطة أسطرلابه



أو ربيعته. إن سبب اهتمام الموقت بالملحظات الواقعة بعد صلاة الفجر بأربع أو ثلاث ساعات غير واضح. لكن عندما يقع الظل على منحني الطنطاوي الموافق للحظة الواقعة قبل الفجر بثلاث عشرة ساعة ونصف الساعة، يكون باستطاعة الموقت أن يتحقق بواسطة آلة أخرى من المظهر السماوي لفجر اليوم التالي. وقد تم اختيار اللحظة الواقعة قبل الفجر بثلاث عشرة ساعة ونصف الساعة، لأنها اللحظة الأكثر تأخراً، والتي يمكن إبرازها على المزولة. إن مزولة ابن الشاطر تعد تحفة في الإبداع والاختراع ومثالاً يدل على براعة تقنية استثنائية. وقد وصفت هذه المزولة للمرة الأولى في المصنفات العلمية عام ١٩٧٢. وتعتبر، بلا ريب، أجمل مزولة في العصر الوسيط.

## المزاول العمودية

لم تبق أية مزولة عمودية تعود إلى القرون الأولى من علم الفلك الإسلامي، غير أننا نعرف أنها صنعت، وذلك استناداً إلى اللؤلؤات الموضوعة عن استخدام هذه المزاول، ابتداء من القرن التاسع.

إن أقدم مزولة محفوظة مصدرها مصر وسوريا، البلدين المسلمين، هي مزولة عمودية بدوية بسيطة، صنعت في العام ١١٥٩/١١٦٠م. وتستخدم لقياس الساعات الزمنية وتحمل مجموعتي خطوط على الوجهين، إحداها لخط العرض 33° (دمشق) والأخرى لخط العرض 36° (حلب). وهذه الآلة معروفة من خلال نصوص، كمؤلف المراكشي، حيث تسمى «ساق الجرداة» ولاستخدامها يجب إمساكها في مستوٍ متعامد مع مستوي الشمس، بحيث يكون الشاخص مثبتاً في واحد من الثقوب الستة في الرأس (كل ثقب منها يقابل زوجاً من أزواج صور البروج بين انقلابي الشمس). فيقع عندئذ ظل طرف الشاخص على الخطوط، ويمكن بذلك قياس الوقت بساعات زمنية. يقول النقش الموجود عليها، والذي يتضمن إهداء إلى السلطان نور الدين زنكي، إن الخطوط تستخدم لتحديد الساعات الزمنية وأوقات الصلاة، ومن هنا نستنتج أن أوقات صلاتي الظهر والعصر كانت محددة كساعات زمنية خاصة.

عرف النوع الأكثر انتشاراً للمزولة العمودية، ابتداءً من القرن التاسع، تحت اسم «منحرفة»، الذي يعني ببساطة «عمودية ومنحرفة على خط الزوال». وعادة، كانت توجد على هذه المزاول خطوط لكل ساعة زمنية ولصلاة العصر، متصلة بأثرين لظل على شكل قطعين زائدين لانتقالي الشمس. ولا بد أن جداول، كذلك التي وضعها القسي (انظر أعلاه)، كانت مفيدة بوجه خاص لصناعة مثل هذه المزاول على أسوار المساجد.



## اللازم الفلكي

ابتكر الفلكي السوري ابن الشاطر إبان القرن الرابع عشر لازماً فلكياً، أو آلة باستعمالات متعددة<sup>(١٣)</sup>. وقد جمعت كل الأجزاء المختلفة المتحركة للآلة في علب قليلة العمق بقاعدة مربعة، مقفلة بغطاء ذي مفاصل. وعلى خارج الغطاء ثبتت عضادة (ذراع متحرك) تستطيع الدوران فوق سلسلة من الخطوط، وبذلك يمكن مستخدم الآلة أن يحسب المبالغ المائلة لدمشق وخطوط العرض 30° و 40° و 50°. كما يمكن للغطاء أن يفتح بشكل يكون فيه متوازياً مع خط الاستواء السماوي، وذلك لسلسلة من ستة أماكن قائمة في سوريا ومصر والحجاز. كما يمكن وضع جهازين بصريين للتصويب في طرفي العضادة بشكل متعامد معها، بحيث يكون باستطاعتها أن تكون مترابطة استوائياً مع الشمس أو مع أي نجم آخر في نصف الكرة الشمالي، ويمكن قراءة الزاوية الساعية على سلم قياس دائري موجود على الغطاء. كما أن مزولة قطبية تحمل خطوطاً منقوشة على صفيحة متحركة، يمكن تركيبها بحيث ترتكز بقليل من الثبات على أجهزة التصويب المثبتة على العضادة التي يجب أن تكون في هذه الحالة أفقية. وبواسطة هذه المزولة القطبية، الموضوعة بهذا الشكل، نستطيع قراءة الساعات الاعتدالية قبل الظهر وبعده، كذلك نستطيع رؤية حلول ساعة العصر (غير أن ابن الشاطر كان يخطئ باعتقاده أن منحني العصر المرسوم على مزولة لخط العرض صفر يمكن استخدامه بشكل شامل بهذه الطريقة).

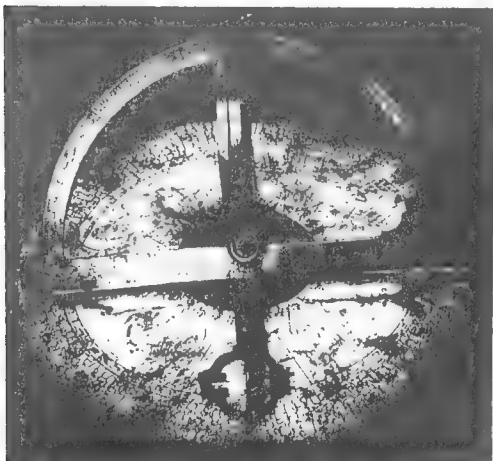
أما الفلكي المصري الوفائي فقد ابتكر أيضاً، وخلال القرن الخامس عشر، لازماً فلكياً آخر أسماه «دائرة المعدل»، أي ما معناه بشكل حرفي «الدائرة الاستوائية». وتتألف هذه الآلة من حاضن نصف دائري، مثبت في طرفي قطره على قاعدة أفقية، وقابل للوضع في مستوى مواز لخط الاستواء السماوي في أي خط عرض كان. كما تتألف أيضاً من جهاز بصري خاص للتصويب، مثبت شعاعياً على الحاضن، بحيث يمكن قياس الزاوية الساعية لأي

(١٣) نوقش اللازم الفلكي لابن الشاطر في: Janin and King, «Ibn al-Shāṭir's *Ṣunḍūq al-Yawāqit*: An Astronomical «Compendium»,» pp. 187 - 256.

نوقش اللازم الفلكي للوفائي، في: S. Tekeli, «(The) Equatorial Armilla of İb(x) al-Din b. Muhammad al-Wafā'i and (the) Torquetum,» *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih - Coğrafya Fakültesi Dergisi*, vol. 18 (1960), pp. 227 - 259; W. Brice, C. Imber and R. Lorch, «The Dā'ire-yi Mu'addal of Seydī 'Alī Re'ī», paper presented at: Seminar on Early Islamic Science, University of Manchester, 1, 1976, and Muammer Dizer, «The Dā'irat al-Mu'addal in the Kandilli Observatory, and Some Remarks on the Earliest Recorded Islamic Values of the Magnetic Declination,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 1, no. 2 (November 1977), pp. 257 - 262.

جسم سماوي، يكون ميله الزاوي الشمالي أقل من ميل فلك البروج (انظر الصورة رقم ٤) - ١٣). وتعمل قاعدة الآلة خطوطاً تشير إلى القبلة لأماكن مختلفة، كما تحمل أحياناً مزولة أفقية لخط عرض خاص.

إن دراسة مسألة تأثير اللوازم الفلكية الإسلامية على اللوازم الفلكية، التي كانت شائعة في أوروبا إبان عصر النهضة، لا تزال ضرورية للغاية. وفي ما يتعلق بالمؤلفات الإسلامية عن المزاويل، نذكر أن العمل الوحيد المعروف في أوروبا، هو ذلك الذي تم إدراجه في *Libros del Saber* في القرن الثالث عشر، لكنه كان خالياً من أية نظرية مفصلة ومن الجداول أيضاً، وهذه سمة ميزت أغلب المؤلفات الإسلامية حول هذا الموضوع.



الصورة رقم (٤ - ١٣)

لازم فلكي من طراز يعرف باسم «دائرة المعدل»، مفيدة بشكل خاص لقياس الزاوية الساعية للشمس أو لأي نجم، هل أي خط عرض (نسخة قدمها مشكوراً مدير متحف تاريخ العلوم، مرصد كاثليقي (Kandilli)، اسطنبول).

## القسم الثالث: علم الميقات: القياس الفلكي للوقت

### مدخل

إن ما يسمى «علم الميقات» هو علم القياس الفلكي للوقت، بشكل عام، بواسطة الشمس والنجوم. وهو بشكل خاص، علم تحديد ساعات (مواقيت) الصلوات الخمس<sup>(١٤)</sup>. وبما أن حدود الفواصل الزمنية المسموح بها للصلاة محددة تبعاً لموقع الشمس الظاهري في السماء بالنسبة إلى الأفق المحلي، فإن أوقات الصلاة تتغير على امتداد السنة وترتبط بخط العرض الأرضي. وعندما يتم حساب أوقات الصلاة تبعاً لمخط زوال مختلف عن الخط المحلي، فإنها ترتبط أيضاً بخط الطول الأرضي<sup>(١٥)</sup>.

### أوقات الصلاة في الإسلام

لقد تحددت أوقات الصلاة المبينة في القرآن الكريم والحديث الشريف في صيغة شرعية في القرن الثامن للميلاد، وابتعت بشكل دائم منذ ذلك الوقت (انظر الشكلين رقمي ٤ - ١٢) و(٤ - ١٣)). ووفقاً لهذه التحديدات الشرعية، يبدأ اليوم الإسلامي وكذلك الفاصل الزمني لصلاة المغرب، عندما يغيب قرص الشمس في الأفق. وتبدأ الفواصل الزمنية لصلاتي العشاء والفجر عند هبوط الليل وقيام النهار، على التوالي. كما يبدأ الوقت الجائز لصلاة الظهر، عادة، بعد أن تتجاوز الشمس خط الزوال، أي عندما نلاحظ أن ظل جسم ما يبدأ بالنمو. ووفقاً للممارسة التي كانت متبعة في الأندلس والمغرب في

«Salât» dans: *Encyclopédie de l'Islam*.

(١٤) حول الصلوات في الإسلام، انظر:

K. Lech, *Geschichte des Islamischen Kultus*, انظر: وحول التطورات الأولى للمؤسسة، انظر: (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, [n. d.]), Bd. 2: *Das Gebet*.

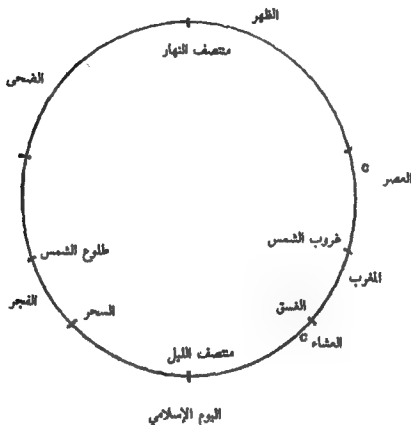
من أجل رؤية عامة حول قياس الوقت في الإسلام، انظر أيضاً: «Mikât» dans: *Encyclopédie de l'Islam*.

(١٥) حول تحديدات أوقات الصلاة، كما تظهر في المصادر الفلكية، انظر: Eilhard E. Wiedemann, and J. Frank, «Die Gebetszeiten im Islam», *Sitzungsberichte der Physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen*, Bd. 58 (1926), pp. 1 - 32, réimprimé dans: Eilhard E. Wiedemann, *Aufsätze zur Arabischen Wissenschaftsgeschichte*, Collectanea; VI, 2 vols. (Hildesheim; New York: G. Olms, 1970), vol. 2, pp. 757 - 788.

من أجل مناقشة البيروني، انظر: Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences*, pp. 299 - 310.

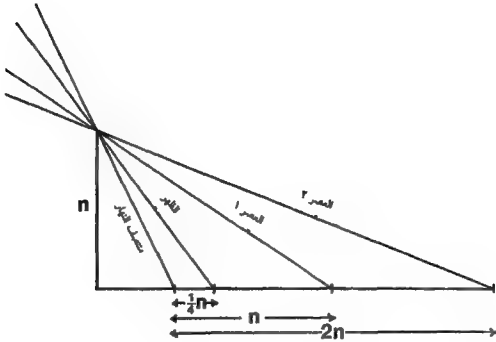
حول مصدر هذه التحديدات، انظر: David A. King, «New Light on the Origin of the Prayers in Islam», in: *Oriens*.

القرون الوسطى، فإن وقت صلاة الظهر يبدأ عندما يتجاوز ظل شاخص ما عمودي، عند الظهيرة، حده الأدنى بمقدار ربع طول الشاخص. كما يبدأ الفاصل الزمني لصلاة العصر عندما يصبح نمو الظل مساوياً لطول الشاخص، وينتهي عندما يصبح هذا النمو معادلاً لضعفي طوله، أو عند غروب الشمس. وفي بعض الأوساط تم اعتماد صلاة إضافية



#### الشكل رقم (٤ - ١٢)

يبدأ اليوم الإسلامي عند غروب الشمس، لأن التقويم قمري، والأشهر تبدأ عند رؤية الهلال بعد غروب الشمس بقليل. هناك خمس صلوات شرعية: تتحدد أوقات الصلوات النهارية بواسطة طول الظلال، وأوقات الصلوات الليلية بواسطة ظواهر تحدث في الأفق وبواسطة الغسق والسحر. هناك صلاة سادسة، محتملة عند بعض الجماعات، اسمها الضحى وتقع في منتصف الصبيحة. انظر كمثال، الصورة رقم (٤ - ١٧) لاحقاً (استنبول) والصورة رقم (٤ - ١١) في القسم الثاني المتعلق بـ «صناعة المزاول» (تونس).



الشكل رقم (٤ - ١٣)

تحديدات القرون الوسطى شرعية لصلاحي الظهر (الأندلس والمغرب) والعصر، بواسطة نمو الظل.

مسماة صلاة الضحى، وقد حددت في اللحظة التي تسبق الظهيرة بفواصل زمني مساوٍ للفواصل بين الظهيرة والعصر<sup>(١٦)</sup>.

تبدو أسماء الصلوات النهارية مشتقة من أسماء الساعات الزمنية الموافقة لها في اللغة العربية الكلاسيكية ما قبل الإسلام. وقد تم الحصول على هذه الساعات بقسمة الفواصل الزمني بين شروق الشمس وغروبها إلى اثني عشر جزءاً. ويمثل تحديد أوقات الصلوات تبعاً لنمو الظل (بالمقابلة مع أطوال الظلال المذكورة في الحديث الشريف) وسيلة عملية لضبط الصلوات تبعاً للساعات الزمنية. كما تتطابق تحديدات الضحى والظهر والعصر،

(١٦) حول العمليات التي أوصى بها الفقهاء، وفي مؤلفات الفلك الشائع، انظر: David A. King, «A Survey of Medieval Islamic Shadow Schemes for Simple Timereckoning», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 4 (1987).

تبعا لنمو الظل، مع ساعات النهار الزمنية الثالثة والسادسة والتاسعة. وتحدد العلاقة بين هذه الصلوات والساعات الزمنية بواسطة صيغة هندية تقريبية تجمع بين نمو الظل وهذه الساعات (انظر أدناه)<sup>(١٧)</sup>.

## تصاميم حسابية بسيطة للظلال من أجل قياس الوقت

قبل أن نباشر بدراسة نشاط الفلكيين المسلمين بصدد «علم الميقات»، نجد الإشارة إلى أن الجداول والألات لم تعرف انتشاراً واسعاً في الممارسة الشائعة. وبالمقابل، وكما نعرف من خلال المؤلفات المتعلقة بعلم الفلك الشائع والأحكام الشرعية، فإن صلوات النهار قد جرى ضبطها بواسطة تصاميم حسابية بسيطة للظلال، من الصنف نفسه العائد للتصاميم التي اعتمدها من قبل علم الفلك الشائع الهلنستي والبيزنطي. وقد تم تحديد حوالي عشرين تصميماً مختلفاً في المصادر العربية. لكنها في أغلب الحالات لم تكن وليدة ملاحظة ثاقبة، والقسم الأكبر منها جاء مشوشاً بسبب أخطاء النسخ. وعادة، تعطي هذه التصاميم، لكل شهر من السنة، قيمة واحدة، برقم واحد، لطول ظل عند الظهيرة يعود لإنسان يبلغ طوله سبع أقدام. نعرض تصميماً من هذا الصنف، ورد ذكره في العديد من المصادر (نبدأ مع القيمة التي تعود إلى شهر كانون الثاني):

5 4 2 1 2 3 5 7 9 أو 10 8 6

إن القيم الموافقة لطول الظل، عند بدء صلاة العصر، هي أكبر بسبع وحدات لكل شهر.

ولقد وضع بعض التصاميم الحسابية الأخرى من أجل تحديد طول الظل في كل ساعة زمنية من النهار. وكانت الصيغة الأكثر رواجاً، والتي أوصي باستخدامها لتحديد نمو الظل ( $\Delta s$ )، بالنسبة إلى حده الأدنى عند الظهيرة، في وقت هو ( $T < 6$ ) يقاس بالساعات الزمنية بعد شروق الشمس أو قبل غروبها، هي:

$$T = 6n / (\Delta s + n)$$

(١٧) حول صيغ حساب الوقت التي استخدمها الفلكيون المسلمون، انظر مقالات:

M. - L. Davidian; N. Nadir and Bernard R. Goldstein, in: Kennedy [et al.], Ibid.,

والدراسات التي يأتي تملدها فيما يلي.

حيث يمثل  $n$  طول الشاخص. هذه أول صيغة استخدمت لتحديد القيم  $\Delta s = n$  للساعة الزمنية الثالثة والتاسعة من النهار (بده الضحى والعصر)، و  $\Delta s = 2n$  لتحديد الساعة العاشرة (المعتمة أحياناً كنهاية للعصر).

وقد وجدت نماذج أخرى بسيطة لقسمة الوقت، لا تزال تستخدم في مناطق زراعية مختلفة من العالم الإسلامي لتنظيم الري<sup>(١٨)</sup>.

## أقدم الجداول لقياس الوقت<sup>(١٩)</sup>

من المعروف أن الخوارزمي هو الذي وضع الجداول الأولى المعروفة لضبط أوقات صلاة النهار، وذلك في بغداد في بداية القرن التاسع للميلاد. وتبين هذه الجداول، التي تم حسابها لخط عرض بغداد، أطوال ظل شاخص باثنتي عشرة وحدة طول، في لحظة الظهر، وفي بداية العصر ونهايته، مع قيم لفواصل من 6 إلى 6 درجات من خط طول الشمس (مطابقة بشكل تقريبي لفواصل من ستة أيام من العام) (انظر الصورة رقم ٤) - (١٤)). وقد وضع الخوارزمي أيضاً بضعة جداول أخرى بسيطة، تبين أوقات النهار، في ساعات زمنية، تبعاً لإرتفاع الشمس المرصود، وقد بنيت هذه الجداول على صيغة تقريبية.

وقد وضع الفلكي علي بن أماجور في القرن التاسع للميلاد، جدولاً أكثر تطوراً

---

(١٨) حول الحلول (جداول وآلات) التي يمكن استخدامها لكل خطوط العرض، انظر:

David A. King: «Universal Solutions in Islamic Astronomy.» in: J. L. Berggren and Bernard Raphzal Goldstein, eds., *From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe* (Copenhagen: [n. pb.], 1987), pp. 121 - 132, and «Universal Solutions to Problems of Spherical Astronomy from Mamluk Egypt and Syria.» in: Farhad Kazemi and R. D. McChesney, eds., *A Way Prepared: Essays on Islamic Culture in Honor of Richard Bayly Winder* (New York: New York University Press, 1988), pp. 153 - 184.

(١٩) حول أقدم الجداول المعروفة المستخدمة لتحديد أوقات الصلاة وحساب ساعة النهار انطلاقاً من ارتفاع الشمس، انظر: King, «Al-Khwirizmi and New Trends in Mathematical Astronomy in the Ninth Century.» especially pp. 7-11.

حول المراكشي ومؤلفه، انظر: «القسم الثاني: صناعة المزاويل: نظرية وتركيب المزاويل»، ضمن هذا الفصل، وانظر أيضاً: David A. King, «The Astronomy of the Mamluks» *Istis*, vol. 74, no. 274, (December 1983), pp. 539 - 540 and 534 - 535, reprinted in: David A. King, *Islamic Mathematical Astronomy*, Variorum Reprint, CS 231 (London: Variorum Reprints, 1986), III.

David A. King, «On the Role of the: انظر: انظر: مؤسسة ختاب الوقت المحترفين في المساجد، انظر: Muezzin and the Muwaqqit in Medieval Islamic Society.» paper presented at: A. I. Sabra, ed., *Proceedings of the Conference on Islamic Intellectual History, Harvard University, May 1988.*

هذا الجدول يعرف بـ "جدول كوكب" فالتسليم في شهر رمضان المبارك من طالع مائة إلى السبعين إلى مائة  
 العشر وما بقي استعمل به فآخره هو جدول يعرف بـ "جدول كوكب" أن شاء الله تعالى.

المشرق									
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩

المغرب									
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
المرور من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
القدر من كوكب	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩

الصورة رقم (٤ - ١٤)  
 أقدم جدول إسلامي معروف يستخدم لتحديد  
 أوقات الصلاة في النهار، ارتبط به اسم الخوارزمي.  
 (برلين، ٥٧٩٣ Ahlwardt، الورقة ٩٤، تم نسخه بعد  
 إذن كريم من مدير Deutsche staatsbibliothek).



لحساب الوقت، مبنياً على صيغة تقريبية بسيطة، يمكن استخدامها لكل خطوط العرض. أما الصيغة الأساس فهي:

$$T = 1/15 \arcsin(\sin h / \sin H),$$

حيث تمثل  $h$  ارتفاع الشمس المرصود،  $H$  الارتفاع الزولي، و ( $T \leq 6$ ) الوقت المنقضي منذ شروق الشمس أو الباقي حتى غروبها، وذلك في ساعات زمنية.

(نرى أن  $T = 0$  عندما يكون  $h = 0$ ، و  $T = 6$  عندما يكون  $h = H$ ، وذلك كما تقتضيه، على التوالي، حالتا وجود الشمس في الأفق وفي خط الزوال. وتجدر الإشارة إلى أن هذه الصيغة، في الواقع، هي دقيقة فقط عند وجود الشمس في الاعتدالين). وقد جدول ابن أماجر ( $T(h, H)$ )، فقط لكل درجة من البعدين الزاويين ( $h < H$ ).

ونجد في الموجزات الفلكية، وابتداءً من القرن التاسع للميلاد، وصفاً لطريقة دقيقة تسمح بتحديد الوقت المنقضي منذ شروق الشمس بدرجات استوائية  $T$ ، أو بقيمة الزاوية الساعية المقابلة  $t$ ، انطلاقاً من القيمتين  $h$  و  $H$ ، أو انطلاقاً من  $\phi$  و  $\delta$ ، حيث  $\phi$  هي خط العرض المحلي و  $\delta$  هي الميل الزاوي (نشير إلى أن  $H = 90^\circ - \phi + \delta$ ). يدخل في هذه العمليات القوس نصف اليومي  $D$ ، وتتطلب العمليات استخدام الدالة فرق جيب تمام الزاوية عن الواحد ( $\text{vers } \theta = 1 - \cos \theta$ ) (انظر الفصل الخامس عشر: علم المثلثات). وتكتب الصيغة الشرعية التي سادت في القرون الوسطى، التي استعارها المسلمون من مصادر هندية (بالصيغة الحديثة) على الشكل التالي:

$$\text{vers } t = \text{vers } (D - T) = \text{vers } D - \sin h \text{ vers } D / \sin H;$$

ويمكن الحصول بسهولة على هذه الصيغة بتحويل المسألة الموضوعية بثلاثة أبعاد على الكرة السماوية إلى مسألة ببعدين (انظر الشكلين رقمي (٤ - ١٤) و (٤ - ١٥)). يمكن الحصول أيضاً على الصيغة الحديثة المعادلة للصيغة التي تعود إلى القرون الوسطى للزاوية الساعية  $t$ ، بعمليات مشابهة، وهي تكتب على الشكل التالي:

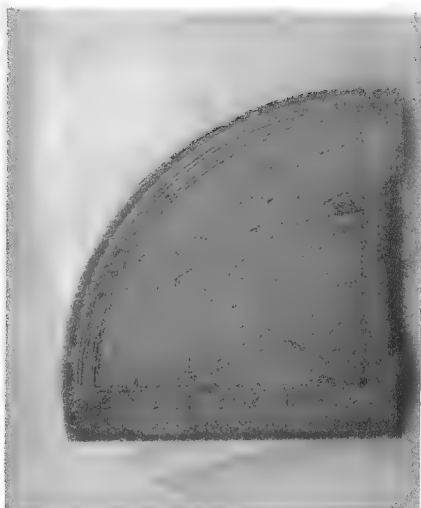
$$\cos t = (\sin h - \sin \delta \sin \phi) / (\cos \delta \cos \phi),$$

وقد استخدم الفلكيون المسلمون المتأخرون صيغة مكافئة لهذه الصيغة. وقد كان العديد من الجداول الإسلامية شاملاً، بمعنى أنها كانت قابلة للاستخدام لجميع خطوط العرض الأرضية.

نجد، ابتداءً من القرن التاسع، وصفاً يبين كيفية تحديد الساعة في النهار أو في الليل باستخدام آلة حساب كالأسطرلاب، أو جهاز حساب كربعية الجيوب. وفي حالة







الصورة رقم (٤ - ١٥)  
الربع المجيب (القاهرة، مخطوطة المكتبة الوطنية).  
صنع هذا الربع عرب زاده عازف سنة ١١١٧/٥ - ١٧٠٤،  
ويبلغ نصف قطره ١٢ سنتيمتراً.

إلى القرون الوسطى الإسلامية القديمة، وعادة في الأعمال التي تحمل اسم الزيج<sup>(٢٠)</sup>.

ظهرت نماذج عديدة من الجداول الموسعة التي تسمح بحساب ساعة النهار بواسطة ارتفاع الشمس، أو ساعة الليل بواسطة ارتفاع بعض النجوم البارزة. وقد تم حساب جميع هذه الجداول لمكان معين، وهي تعطي إما  $T(h, H)$  أو  $T(h, \lambda)$ ، حيث  $\lambda$  تمثل خط طول الشمس. ومن أجل استخدام أحد هذه الجداول كانت هنالك حاجة لألة كالأسطرلاب مثلاً، لقياس الارتفاعات السماوية أو لقياس مرور الوقت. لكن، لا شيء يؤكد أن هذه الجداول القديمة كانت تستخدم على نطاق واسع.

كان تطور الجداول المثلثية الإضافية إبان القرنين التاسع والعاشر للميلاد مثيراً للاهتمام بشكل خاص، لكونه يعمل على تسهيل حل مسائل الفلك الكروي، ولا يقتصر فقط على تسهيل حل المسائل المتعلقة بحساب الوقت. إن الجداول الإضافية لحبش ولأبي نصر (أقام في آسيا الوسطى، حوالي سنة ١٠٠٠م) هي الأبرز من وجهة نظر رياضية. أما جداول الخليلي الشاملة، الموضوعة لحساب الوقت، فينبغي تفحصها في ضوء هذه التطورات السابقة<sup>(٢١)</sup>.

---

(٢٠) حول مدونات جداول القاهرة، تمز، دمشق والقلم، تونس وإسطنبول، انظر حل التولي:

David A. King: «Ibn Yūnus' Very Useful Tables for Reckoning Time by the Sun,» *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 10 (1973), pp. 342 - 394; «Mathematical Astronomy in Medieval Yemen,» *Arabian Studies*, vol. 5 (1979), p. 63, and «Astronomical Timekeeping in Fourteenth - Century Syria,» paper presented at: *Proceedings of the First International Symposium for the History of Arabic Science... 1976* (Aleppo: University of Aleppo, Institute for the History of Arabic Science, 1978), vol. 2, pp. 75 - 84 and planches; Edward Stewart Kennedy and David A. King, «Indian Astronomy in Fourteenth - Century Fez: The Versified Zīj of al-Qusūnīnī,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6, nos. 1 - 2 (1982), pp. 8 - 9, and David A. King, «Astronomical Timekeeping in Ottoman Turkey,» paper presented at: Muammer Dixit, ed., *Proceedings of the International Symposium on the Observatories in Islam, Istanbul, 19 - 23 September 1977* (Istanbul: [n. pb.], 1980), pp. 245 - 269.

King, *Islamic Mathematical Astronomy*.

وقد أعيد طبع كل هذه للقاتل في:

(٢١) حول جداول حبش وأبي نصر والخليل الإضافية، انظر حل التولي: Rida A. K. Irani, «The

*Jadwal at- Taqwīm of Ḥabash al-Ḥimīlī*,» (Unpublished M. A. Dissertation, American University of Beirut, 1956); Claus Jensen, «Abū Naṣr Maṣṣūr's Approach to Spherical Astronomy as Developed in His Treatise «The Table of Minutes,» *Centaurus*, vol. 16, no. 1 (1971), pp. 1 - 19, and David A. King, «Al-Khāṣṣī's Auxiliary Tables for Solving Problems of Spherical Astronomy,» *Journal for the History of Astronomy*, vol. 4 (1973), pp. 99 - 100, reprinted in:

King, *Islamic Mathematical Astronomy*.

## مؤسسة «الموقت»

كان تنظيم أوقات الصلاة، وفقاً للممارسة المتبعة قبل القرن الثالث عشر على الأقل، يقع على عاتق المؤذن. وتتم عملية تسمية هؤلاء المؤذنين نظراً لجودة أصواتهم المميزة ولسمعتهم الطيبة، وكان لزاماً عليهم أن يلتموا بالمبادئ الأولية لعلم الفلك الشائع. فقد كان عليهم معرفة الظلال في لحظات الظهر والعصر من كل شهر، كما عليهم أن يعرفوا أي منزل قمري يظهر عند مطلع الفجر ويختفي عند هبوط الليل، وكانت هذه المعلومات مصاغة بشكل يسمح بحفظها. لذلك لم يكن المؤذنون بحاجة إلى الاستعانة بجداول أو آلات فلكية. إن التقنيات الضرورية معروضة في الفصول المتعلقة بالصلاة في كتب أحكام الشريعة، أما المؤهلات المطلوبة من المؤذن فكانت أحياناً معروضة بشكل مفصل في المؤلفات المرتبطة بالنظام العام (الحسبة أو الاحتساب).

وقد حصل تطور جديد إبان القرن الثامن للميلاد، لكن أصوله ظلت غامضة. ففي هذا القرن نجد في مصر أول إشارة إلى «الموقت»، الفلكي المحترف المرتبط بمؤسسة دينية، الذي تقوم مهمته الأساسية على تنظيم أوقات الصلاة. كما ظهر في العصر نفسه فلكيون موصوفون كمقياتين، متخصصون في علم الفلك الكروي وفي القياس الفلكي للوقت، لكن دون أن يكونوا مرتبطين بالضرورة بمؤسسة دينية معينة.

## قياس الوقت في مصر في عهد المماليك

وضع مقياتي يسمى بأبي علي المراكشي، كان مقيماً في القاهرة في نهاية القرن الثامن، وانطلاقاً من مصادر سابقة، مؤلفاً موجزاً عن الفلك الكروي وعن الآلات. وقد نُسب لهذا المؤلف أن يحدد مسار علم الميقات لقرون عديدة. وهو يحمل بجدارة العنوان التالي: جامع الميادى والغابات في علم الميقات. وقد تمت دراسته للمرة الأولى على يدي كل من سيدنيو (Sédillot) الأب والابن في القرن التاسع عشر.

كما اقتبس شهاب الدين القسي، وهو معاصر للمراكشي، مجموعة جداول (وذلك بشكل واضح عن مجموعة أكثر قدماً وربما أقل اتساعاً، كان قد ألّفها الفلكي ابن يونس في القرن العاشر). وتعمطي هذه الجداول الوقت المنقضي منذ شروق الشمس تبعاً لارتفاعها ولخط الطول، وذلك لخط العرض الخاص بالقاهرة. وقد تم توسيع وتطوير هذه

<sup>2</sup> من أجل تحليل لكل الجداول المشورة، انظر: David A. King, *Studies in Astronomical Timekeeping in Islam* (New York: Springer - Verlag, [n. d.]), vol. 1: *A Survey of Tables for Reckoning Time by the Sun and Stars*, and vol. 2: *A Survey of Tables for Regulating the Times of Prayer*.

الجدول في القرن الرابع عشر، في مدونة تنطوي نحو مئتي صفحة مخطوطة، تتضمن أكثر من ثلاثين ألف مدخل. وقد استخدمت مدونة جداول القاهرة هذه لقياس الوقت خلال عدة قرون، كما حفظت في نسخات عديدة، ولا توجد بينها اثنتان تحتويان على الجداول نفسها. وتتضمن هذه المدونة جداول موسعة تعطي الوقت المتقضي منذ شروق الشمس، والزوايا الساعية (الوقت الباقي حتى الظهر)، وسمت الشمس لكل درجة خط طول شمسي (وهي جداول تشكل بمداخلها، التي تعد ثلاثين ألفاً تقريباً، الجزء الأعظم من المدونة) (انظر الصورة رقم (٤ - ١٦))، وتضم أيضاً جداول أخرى تعطي ارتفاع الشمس

الصورة رقم (٤ - ١٦)

مقطع من جدول في مدونة القاهرة تستخدم لحساب الوقت. يعطي الجدول المئين قيم النالات الثلاث: الزاوية الساعية والوقت المتقضي منذ شروق الشمس والسمت، وذلك لكل درجة من خط طول الشمس، عندما تملك الشمس ارتفاعاً قيمته  $15^\circ$  فوق الأفق (القاهرة، دار الكتب، مقيات ٦٩٠، الورقتان ١٥<sup>هـ</sup> - ١٦<sup>هـ</sup>، تم نسخه بعد إذن كريم من مدير المكتبة الوطنية المصرية).

والزاوية الساعية في لحظة العصر، وارتفاع الشمس والزاوية الساعية عندما تكون الشمس في اتجاه القبلة، وقرقي السحر والغسق.

كما توجد في بعض النسخات المتأخرة من مدونة القاهرة جداول تحدد خلال شهر رمضان اللحظة التي يجب أن تكون فيها القناديل الموضوعة على المثلثة مطفأة، واللحظة التي ينبغي على المؤذن أن ينطق فيها بالصلاة على النبي محمد (ﷺ). وفي بعض النسخات القديمة أو المتأخرة هنالك جدول يتعلق باتجاه منافذ الهواء الكبيرة، التي كانت ميزة لافتة للنظر في سماء القاهرة خلال مرحلة القرون الوسطى. فقد كانت هذه المنافذ متراففة على تصميم طرق مدينة المعادلة للقرون الوسطى المتعاود تقريباً؛ والتصميم نفسه موجه فلكياً نحو شروق الشمس في الانقلاب الشتوي (انظر القسم الأول: القبلة).

ووضع المقسي كذلك مؤلفاً واسعاً حول نظرية الزوالة، يتضمن جداول إحداثيات تسمح برسم المنحنيات على المزاو الأفقية وذلك لخطوط عرض مختلفة، كما تسمح برسم المنحنيات على المزاو العمودية مهما كان انحراف هذه المنحنيات على خط الزوال المحلي وذلك لخط عرض القاهرة (انظر القسم الثاني: صناعة المزاو). وكانت هذه المنحنيات مفيدة بوجه خاص في صناعة المزاو على أسوار مساجد القاهرة، كما كانت المنحنيات الخاصة بالظهر والعصر تسمح للمؤمن أن يحدد الوقت الباقي لدعوة المؤذن إلى الصلاة.

كما وضع الفلكي القاهري نجم الدين، معاصر المراكشي والمقسي، جدولاً لقياس الوقت، كان من المفترض أن يصلح لجميع خطوط العرض وأن يستخدم نهائياً بواسطة الشمس وليلاً بواسطة النجوم. إن الدالة المجدولة هي  $T(H, D)$ ، حيث تمثل  $D$  نصف قوس رؤية الجرم السماوي فوق الأفق. وفي هذا الجدول يرتفع عدد المداخل إلى أكثر من ربع مليون. ولكنه لم يستخدم بشكل واسع وإنما عرف بنسخة وحيدة، قد تكون تلك التي كتبت بيد واضعه.

وقد مارست كتابات المراكشي وأعمال الموقتين القدامى تأثيراً في منطقة أخرى من العالم الإسلامي هي اليمن، إذ مورس علم الفلك الرياضي وتم تشجيعه خلال فترة حكم بني الرسول. ونذكر بشكل خاص السلطان الأشرف (حكم بين العامين ١٢٩٥ و ١٢٩٦م) الذي وضع مؤلفاً حول التجهيزات مستوحى من مؤلف المراكشي. كما جمع الفلكي اليمني أبو العقول، الذي عمل عند السلطان المؤيد في تمز، مدونة جداول لقياس الوقت في النهار والليل، وكانت أوسع مدونة من هذا الطراز وضعها فلكي مسلم وتعد أكثر من مئة ألف مدخل.



وكان في القاهرة إبان القرن الرابع عشر العديد من اللوقتين الذين أنتجوا أعمالاً علمية قيمة، إلا أن مركز النشاط الأساسي بصد «علم الميقات»، وخلال ذلك القرن، كان موطنه سوريا.

## قياس الوقت في سوريا خلال القرن الرابع عشر

اخترع الفلكي الحلبي ابن السراج، الذي نعلم أنه قصد مصر، سلسلة أسطرلابات شاملة وربيعيات خاصة وجداول في حساب الثلثات، كانت تهدف جميعها إلى قياس الوقت. تمثل أعماله هذه ذروة الإنجازات الإسلامية في مجال الآلات الفلكية. كما درس فلكيان كبيران سوريان آخران، هما المزي وابن الشاطر، علم الفلك في مصر. ورجع المزي إلى سوريا حيث وضع مجموعة جداول للزوايا الساعية، وجداول أخرى للصلاة خاصة بدمشق، وذلك على غرار مدونة القاهرة. ووضع ابن الشاطر بضعة جداول للصلاة تتعلق بمكان لم تتم الإشارة إليه، ومن المحتمل أن يكون هذا المكان طرابلس، المدينة المملوكية الجديدة. وقد وضع المزي كذلك مؤلفات مختلفة حول الآلات. ومن جهته، وجه ابن الشاطر اهتمامه نحو علم الفلك النظري والنماذج السيارة. لكنه مع ذلك، ابتكر أجمل مزولة عرفت في العصر الإسلامي الوسيط (انظر القسم الثاني: صناعة المزاول).

وقد حصل التقدم الأهم في «علم الميقات» على يد الفلكي شمس الدين الحلبي، زميل المزي وابن الشاطر. فقد أعاد الحلبي حساب جداول المزي مع الوسيطين الجديدين (خط عرض المكان وميل فلك البروج) اللذين وجدهما ابن الشاطر (انظر الصورة رقم ٤). وقد استمر استخدام مدونته المتضمنة للجداول والمعدة لقياس الوقت بالاستعانة بالشمس وتنظيم أوقات الصلاة، في دمشق حتى القرن التاسع عشر. فقد جدول لكل درجة من درجات خط طول الشمس  $\lambda$ ، الدالات التالية: الارتفاع الزوالي للشمس؛ القوس نصف اليومي؛ عدد ساعات النهار؛ ارتفاع الشمس عند ابتداء العصر؛ الزاوية الساعية عند ابتداء العصر؛ الفاصل الزمني بين ابتداء العصر وغروب الشمس؛ الفاصل الزمني بين الظهيرة ونهاية العصر؛ فترة الليل؛ فترة الغسق؛ فترة الليل البهيم (من هبوط الليل حتى مطلع الفجر)؛ فترة السحر؛ الوقت المتبقي حتى حلول الظهيرة، انطلاقاً من اللحظة التي تكون فيها الشمس في اتجاه مكة.

إن المداخل لكل هذه الدالات، باستثناء الثالثة، معطاة بالدرجات والدقائق من خط الاستواء (حيث تطابق الدرجة الواحدة 4 دقائق من الزمن). وتتضمن هذه الجداول ٢١٦٠ مدخلاً. كما جدول الحلبي أيضاً الزاوية الساعية  $\pm$  تبعاً لارتفاع الشمس  $\lambda$  ولخط طول الشمس  $\lambda$ ، وذلك لخط عرض دمشق. وتتضمن جداول الدالة  $(\lambda, \lambda)$   $\pm$  عشرة آلاف مدخل تقريباً.



ووضع الخليلي، بالإضافة إلى ذلك، بضعة جداول لدالات مثلثاتية إضافية تناسب كل خطوط العرض. وتعتبر هذه الجداول عملية أكثر من سابقتها من الصنف نفسه، والتي وضعها حبش. والدالات المجدولة هي:

$$f(\varphi, \theta) = R \sin \theta / \cos \varphi$$

$$g(\varphi, \theta) = \sin \theta \operatorname{tg} \varphi / R$$

$$k(x, y) = \operatorname{arc} \cos (Rx/y)$$

حيث أساس الدالات المثلثاتية هو  $R = 60$ . ويتجاوز العدد الكامل للمداخل في هذه الجداول الإضافية ١٣٠٠٠ مدخل. والقيم فيها معطاة حتى رقمين في النظام الستيني وكانت دائماً صائبة. وبواسطة هذه الجداول يمكن تحديد الزاوية الساعية بأقل قدر ممكن من العمليات الحسابية. وقد قدم الخليلي الصيغة التالية:

$$t(h, \delta, \varphi) = k \{ [f(\varphi, h) - g(\varphi, \delta)], \delta \}$$

المعادلة للصيغة الحديثة. بالإضافة إلى ذلك، فإن السمات  $a$  الموافق (المقاس انطلاقاً من خط الزوال) معطى على الشكل التالي:

$$a(h, \delta, \varphi) = k \{ [g(\varphi, h) - f(\varphi, \delta)], b \}.$$

تستطيع هذه الجداول أن تحل عددياً أية مسألة يمكن حلها، بمصطلحات حديثة، بواسطة صيغة يجب التمام من حساب المثلثات الكروي.

وقد وضع الخليلي أيضاً جدولاً يحدد القبلة، أو الاتجاه المحلي لمكة، تبعاً لخط العرض ولخط الطول الأرضيين (انظر القسم الأول: القبلة). ويبدو أنه استخدم جداوله الإضافية الشاملة من أجل وضع جدول القبلة هذا.

وقد عرف بعض نشاطات المدرسة الدمشقية في تونس إبان القرنين الرابع عشر والخامس عشر للميلاد، إذ تم جمع جداول إضافية وجدول للصلاة واسعة للغاية وذلك لخط عرض تونس على يد فلكيين، بقيت أسماؤهم مجهولة بالنسبة إلينا. كما وضعت كذلك جداول للصلاة لمختلف خطوط العرض من المغرب.

### قياس الوقت في تركيا العثمانية

كان تأثير مدرستي القاهرة ودمشق على التطورات الخاصة بـ «علم الميقات» في تركيا العثمانية أكثر دلالة. فقد سبق أن وضع الفلكيون الدمشقيون مجموعة جداول صلاة لخط عرض اسطنبول. إلا أن الفلكيين العثمانيين وضعوا العديد من مجموعات الجداول الجديدة الخاصة بهذه المدينة وبأماكن أخرى من تركيا، على غرار مدنات القاهرة ودمشق، إذ توجد جداول صلاة لهذه المدينة في الزيج الراجح للغاية للشيخ فيفا (Vefi)، وهو صوفي من القرن الخامس عشر، وكذلك في الزيج الأقل رواجاً للعالم دارندي من القرن السادس عشر (انظر الصورة رقم ٤ - ١٨). ويعطي هذا الزيج الأخير أطوال النهار والليل، كذلك

٤٨

الزمن		حركات النجوم												الزمن	
ساعات	دقائق	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ساعات	دقائق
1	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	0
1	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	10
1	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	20
1	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	30
1	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	40
1	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	50
1	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1	00
2	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	0
2	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	10
2	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	20
2	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	30
2	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	40
2	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	50
2	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2	00
3	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	0
3	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	10
3	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	20
3	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	30
3	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	40
3	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	50
3	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3	00
4	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	0
4	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	10
4	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	20
4	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	30
4	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	40
4	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	50
4	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	00
5	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	0
5	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	10
5	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	20
5	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	30
5	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	40
5	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	50
5	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5	00
6	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	0
6	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	10
6	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	20
6	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	30
6	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	40
6	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	50
6	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6	00
7	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	0
7	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	10
7	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	20
7	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	30
7	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	40
7	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	50
7	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7	00
8	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	0
8	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	10
8	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	20
8	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	30
8	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	40
8	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	50
8	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	8	00
9	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	0
9	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	10
9	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	20
9	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	30
9	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	40
9	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	50
9	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9	00
10	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	10	0
10	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	10	10
10	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	10	20
10	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	10	30
10	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	10	40
10	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	10	50
10	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	10	00
11	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	11	0
11	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	11	10
11	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	11	20
11	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	11	30
11	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	11	40
11	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	11	50
11	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	11	00
12	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12	0
12	10	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12	10
12	20	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12	20
12	30	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12	30
12	40	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12	40
12	50	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12	50
12	00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12	00

سنة الفات

الصورة رقم (٤ - ١٨)

مقطع من جداول الصلاة لاسطنبول، وضعها دارنيلي. يتعلق الجدول للبين بيرجمي الحمل والعداء. يجب الإشارة إلى أن للداخل مكتوبة بأرقام هندية، وليس بالتدوين الأبجدي المعدني (أبيجد)، الذي كان أكثر استخداماً من الجداول الفلكية، حتى خلال حكم العثمانيين (القاهرة، طلعت، ميقات تركي ٢٩، الورقة ٤٤، تم نسخه بعد إذن كريم من مدير المكتبة الوطنية المصرية).

ساعات الظهيرة (المعبر عنها وفقاً للاصطلاح التركي)<sup>(٢٢)</sup>، والعصر الأول والثاني، وهبوط الليل وطلوع النهار، واللحظة التي تكون فيها الشمس في اتجاه القبلة، ولحظة صلاة في الصباح مسماة صلاة الزهومة (مرتبطة بالضحية). وقد بقيت هاتان المجموعتان من الجداول قيد الاستخدام حتى القرن التاسع عشر.

وقد وضعت مجموعات واسعة من الجداول لحساب الوقت بواسطة الشمس و/أو النجوم لاسطنبول وأدنة، إذ وضع تقي الدين بن معروف، مدير المرصد الفلكي في اسطنبول في نهاية القرن السادس عشر، مجموعة جداول خاصة بالشمس. كما وضع صالح أفندي التخصص في فن العمارة، في القرن الثامن عشر، مدونة ضخمة في الجداول لحساب الوقت. وقد كانت أيضاً شائعة جداً عند موثقي اسطنبول.

هناك سمة تميز بعض هذه الجداول العثمانية عن الجداول السابقة، المصرية والسورية منها، وهي أن قيم ساعات النهار مبنية على اصطلاح يعتبر أن غروب الشمس يشير إلى الساعة الثانية عشرة. وهذا الاصطلاح المستوحى من واقع اليوم الإسلامي الذي يبدأ عند غروب الشمس (لأن التقويم قمري والأشهر تبدأ مع رؤية الهلال بعد فترة بسيطة من غروب الشمس) تعتره بعض الشوائب، إذ يجب تصويب الساعات التي تشير إلى الوقت «التركي» بمقدار بضع دقائق كلما انقضت بضعة أيام. وقد تم وضع جداول صلاة، مبنية على هذا الاصطلاح، في كل أرجاء الامبراطورية العثمانية وخارجها. وهناك أمثلة تؤكد هذا الأمر، موجودة في مصادر مخطوطة متعلقة بأماكن بعيدة كالجزائر ويران وكرت وصنعاء. وقد وضع الموقتون، في العصور المملوكية والعثمانية المتأخرة، مؤلفات عديدة تتعلق بصيغ حساب الوقت، وعمليات حساب ساعات النهار أو الليل، أو أوقات الصلاة بواسطة ربعية مقنطرات (مشتقة من الأسطرلاب) أو بواسطة ربعية الجيوب.

## الجدول الحديثة لأوقات الصلاة

كانت، أو لا تزال، أوقات الصلاة إبان القرنين التاسع عشر والعشرين تجداول في أزياج سنوية وتقاويم حائطية ومفكرات جيب، كذلك يتم تسجيل هذه الأوقات كل يوم في الصحف. وخلال شهر رمضان يتم توزيع جداول خاصة لكل أيام الشهر المذكور،

---

(٢٢) حول الاصطلاح التركي، الذي بموجبه تكون الساعة الثانية عشرة عند غروب الشمس، انظر:

J. Würschmidt, «Die Zeitrechnung im Osmanischen Reich», *Deutsche Optische Wochenschrift* (1917), pp. 88 - 100.

حول muvakkithane، أي المباني الخاصة للمساجد العثمانية الكبرى، التي كان يستخدمها الموقتون، انظر: A. S. Ünver, «Osmanlı Türkerinde İlim Tarihinde Muvakkithaneler», *Atatürk Konferenstarı*, vol. 5 (1975), pp. 217 - 257.

تسمى إمساكية، وهي تبين، بالإضافة إلى أوقات الصلاة، الفترة المسماة بالسحور للوجبة الصباحية، واللحظة الواقعة قبل الفجر بقليل والمسماة بالإمساك حيث يبدأ الصوم. إن المؤسسات التي تضع الجداول الحديثة هي مصلحة المساحة المحلية أو المرصد أو بعض الهيئات التي تلقى موافقة السلطات الدينية. وتقدم الجداول عادة أوقات الصلوات الخمس وشروق الشمس. وقد ظهرت مؤخراً ساعات حائط وساعات يدوية معدة للبيع، مبرمجة إلكترونياً لكي تدق في أوقات الصلاة المحددة لأماكن مختلفة، ولكي تسمع تسجيلاً صوتياً للدعوة إلى الصلاة.

## تأثير علم الفلك العربي في الغرب في القرون الوسطى

هنري هوزونار - روش (\*)

يعدد كبلر (Képler) في بداية مؤلفه *Epttome astronomiae Copernicanae* أجزاء علم الفلك المختلفة، الضرورية، حسب رأيه، لتكوين علم الظواهر السماوية، على الشكل التالي<sup>(١)</sup>: تتضمن مهمة العالم الفلكي خمسة أجزاء رئيسة، هي: الدراسة التاريخية للأرصاء، تحليل آفاق الفرضيات، فيزياء أسباب الفرضيات، علم حساب الجداول، وعلم ميكانيك الآلات. ويضيف كبلر أن الأجزاء الثلاثة الأولى هي أكثر ارتباطاً بالنظرية، أما الجزءان الأخيران فارتباطهما أوثق بالتطبيق.

وفي كل جزء من الأجزاء التي ميزها كبلر، كان إسهام علم الفلك العربي أساسياً في ولادة علم الفلك اللاتيني في القرون الوسطى، ومن ثم في تطوره. فقبل هذا الإسهام لم يكن هناك في الواقع علم فلك يتمتع بمستوى عالٍ في اللغة اللاتينية<sup>(٢)</sup>. وما كان يقصد بعلم الفلك لم يكن إلا مجموعة أفكار في وصف الكون، تفتقر إلى الدقة، وتدور حول

---

(\*) مدير أبحاث في المعهد التطبيقي للدراسات العليا - باريس.

قام بترجمة هذا الفصل نزيه عبد القادر المرحبي.

(١) أنظر: Képler, *Geometrische Werke*, Bd. VII, edited by M. Caspar (Munich: [n. pb.], 1953), p. 23.

(٢) حول علم الفلك في القرون الوسطى قبل وصول العلم العربي إلى الغرب، نجد عرضاً تركيبياً في: Olaf Pedersen, «The Corpus Astronomicum and the Traditions of Mediaeval Latin Astronomy», paper presented at: *Colloquia Copernicana, Studia Copernicana*; 13 (Wrocław: Ossolineum, 1975), pp. 57 - 96.

شكل وأبعاد العالم، إضافة إلى بعض المفاهيم المختصرة للغاية حول الحركات السماوية، وبشكل أساسي حول الظواهر الاقترانية كالبزوغ الشرقي<sup>(٣)</sup> والأول الغربي<sup>(٤)</sup>. وقد أدت احتياجات الكنيسة المتعلقة بسير التقويم إلى ظهور تقليد كامل من حسابات التسلسل الزمني للأحداث، وذلك على إثر المؤلف *De temporum ratione*، الذي وضعه بيد (Bède) (المتوفى عام ٧٣٥م). إلا أن هذه المصنفات في حساب الأعياد، والتي ارتبطت بها أسماء ربابان مور (Raban Maur) أو ديكويل (Dicuil) أو غارلاند (Garlande)، لم تكن مبنية في أي شكل على معالجة رياضية للظواهر. ويكفي إعطاء مثال واحد للتدليل على هذا الأمر: فقد صور بيد (Bède) حركات الكواكب بواسطة دوائر مختلفة المركز بسيطة، لذلك بقيت الخاصة الكوكبية الثانية من دون شرح. وباختصار، فقد افتقر علم السماء العائد إلى بداية القرون الوسطى، وفي آن واحد، إلى الأرصاد والتحليل الهندسي للمظاهر وإلى التأمل حول أسس الفرضيات، أي إلى الأجزاء الثلاثة التي ترتبط، وفقاً لكبلر بالنظرية الفلكية. ولم يكن علم الفلك التطبيقي يحال أفضل، فالجداول غالبية والآلات (الزواول والساعات الشمسية) مختصرة للغاية.

لا يمكن، بالطبع، أن نأتي في مقالنا هذا على سرد تفصيلي، أو حتى على مجرد تعداد لجميع التحولات الحاصلة في الغرب اللاتيني بفعل الترجمات المتلاحقة لأعمال عربية، كما أننا لن نأتي على ذكر جميع هذه الترجمات أو كتاب القرون الوسطى الذين استطاعوا أن يستلهموها<sup>(٥)</sup>. ومستترك جانباً مواضيع أخرى، منها التأثير العربي على تطور حساب المثلثات في الغرب، وعلى الآلات، وعلى الفهارس اللاتينية للنجوم<sup>(٦)</sup>، كما أننا لن نتناول بالبحث التأثير الكبير الذي مارسه مؤلفات مثل *Introductorium matius* أو *De magnis*

(٣) أي بزوغ نجم متزامن مع شروق الشمس.

(٤) أي أول نجم متزامن مع غروب الشمس.

(٥) إن العرض الأكثر حداثة حول انتقال العلم العربي إلى العالم اللاتيني، مع فهرسة غزيرة،

هو عرض: Juan Vernet, *Ce que la culture doit aux arabes d'Espagne*, traduit de l'espagnol par Gabriel Martinez Gros, la bibliothèque arabe, collection l'histoire décolonisée (Paris: Sindbad, 1985), traduction allemande: *Die Spanisch - arabische Kultur in Orient und Okzident* (Zürich/ Munich: [n. pb.], 1984).

Charles Homer Haskins, *Studies in the History of* مرجع هامسكن مفيداً: *Medieval Science*, 2<sup>nd</sup> ed. (Cambridge: Harvard University Press, 1927), reprinted (New York: Ungar Pub. Co., 1960).

Francis James Carmody, *arabic Astronomical and Astrological Sciences in Latin* انظر أيضاً: *Translation: A Critical Bibliography* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1956).

(٦) حول هذه النقطة الأخيرة، انظر: Paul Kunitzsch: *Arabische Sternnamen in Europa* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1959), and *Typen von Sternverzeichnissen in Astronomischen Handschriften des Zehnten bis Vierzehnten Jahrhunderts* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1966).



*conjunctionibus* المعائدة لأبي معشر (نهاية القرن التاسع للميلاد) على التنجيم اللاتيني<sup>(٧)</sup>.  
وسنركز كلامنا، بالمقابل، على مسائل النظرية الفلكية بالذات، بهدف إيفاح بعض الجوانب  
الأساسية للتأثير العربي على التكوين التدرجي لهذه النظرية في الغرب في القرون الوسطى.

### الأسطرلاب وعلم فلك الحركة الأولى<sup>(٨)</sup>

ترتبط الدلائل الأولى على دخول علم الفلك العربي إلى الغرب اللاتيني بالأسطرلاب  
المبني على أساس الإسقاط التصوري المجسم. وقد سبق أن حدد بطليموس خصائص  
وميزات هذا الإسقاط في مؤلفه *تسطيح الكرة* (*Planisphere*)، لكن العالم اللاتيني لم يعرف  
هذا النص إلا في القرن الثاني عشر، وذلك من خلال ترجمة هرمان الدلائي (Hermann  
Dalmathe) في العام ١١٤٣م لنص عربي دققه مسلمة المجرطي حوالي العام ١٠٠٠م.  
وبالمقابل، تعرفت الأوساط العلمية في شمال شبه الجزيرة الإيبيرية إلى الأسطرلاب وإلى  
المؤلفات المتعلقة به منذ نهاية القرن العاشر، من خلال احتكاكها مع الإسلام. فقد ظهرت  
في ذلك العصر أولى المصنفات التقنية باللاتينية، وهي تتضمن أسماء جرير (Gerbert)  
(الذي أصبح فيما بعد بابا روما سلفستروس الثاني) وللوبيت البرشلوني (Llobet de  
Barcelone) وهرمان لو بواتو (Hermann le Boiteux). والمصنفات هذه هي عبارة عن  
مؤلفات عن استخدام هذه الآلة، ومؤلفات عن صناعتها، ومؤلفات عن صناعتها  
واستخدامها. وقد تشكلت هذه المؤلفات من مقاطع أو من تدقيقات لأعمال عربية سابقة  
لم تحدد هويتها حتى الآن بشكل جيد<sup>(٩)</sup>. ثم ظهرت سلسلة جديدة من الترجمات في القرن

---

(٧) انظر: Richard Joseph Lemay, *Abu Ma'shar and Latin Aristotelianism in the Twelfth Century: The Recovery of Aristotle's Natural Philosophy through Arabic Astrology*, American University of Beirut, Publication of the Faculty of Arts and Sciences, Oriental Series; no. 38 (Beirut: American University of Beirut, 1962).

إن عقيدة *De magnis conjunctionibus* (ترجمة يوحنا الإنشيلي كتاب القزفة) التي تعرض آثار تجمعات  
الكواكب على صعود وسقوط الأسر الحاكمة والملوك الأرضية، ماوست تأثيراً في الفرون الوسطى، ونجد  
أثراً لها في: Georg Joachim Rheticus, *Narratio prima*, édition critique, traduction française, commentaire par H. Hugonnard - Roche et J. P. Verdet, avec la collaboration de M. P. Lerner  
et A. Segonds, Studia Copernicana; 20 (Wrocław: Ossolineum, 1982), pp. 47 - 48 et 98 - 99.  
(٨) أو حركة الكل.

(٩) توجد دراسة كلاسيكية عن هذا الموضوع، في: José María Millán Vallicrosa, *Assaig*: *d'història, de les idees físiques matemàtiques a la Catalunya medieval*, [Barcelona], Etnidias  
universitèria catalana, sèrie monogràfica; I (Barcelona: Institució Patxot, 1931-).

انظر أيضاً العرض التركيبي في: José María Millán Vallicrosa, *Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española* (Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1960), pp. 79 - 115.

الثاني عشر، نذكر منها ترجمة أفلاطون التيفولي (Platon de Tivoli) (حوالي ١١٣٤ - ١١٤٥) لمؤلف ابن الصغار (الترقى العام ٤٢٦هـ / ١٠٣٥م)، كما ظهرت أعمال لاتينية أصيلة مختلفة، نذكر منها تلك الأعمال العائدة لأدجار دو باث (Adélar de Bath) (حوالي ١١٤٢ - ١١٤٦م) أو رويسر دو شسستر (Robert de Chester) (١١٤٧م) أو ريمون المارسييلي (Raymond de Marseille) (قبل سنة ١١٤١م). وقد سمحت هذه الترجمات والأعمال الأصيلة للغرب اللاتيني بالإلام النهائي بهذه الآلة. بالإضافة إلى ذلك، فقد عزز إدراج الأسطرلاب في برامج التدريس الجامعي الدور التعليمي لهذه الآلة حتى نهاية القرون الوسطى، كما ضمن انتشار ونجاح الترجمة اللاتينية التي وضعها يوحنا الإشبيلي (Jean de Séville) (حوالي ١١٣٥ - ١١٥٣م) لمؤلف منسوب إلى ما شاء الله (نهاية القرن الثامن للميلاد).



#### الصورة رقم (٥ - ١)

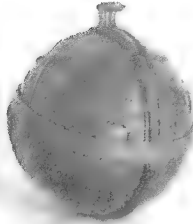
ما شاء الله، ترجمة ما شاء الله، ترجمة يوحنا الإشبيلي  
(أوكسفورد، غطوطة مكتبة بودلين، ١٥٢٢ Ashmole).

كان لهذه الترجمة اللاتينية لكتاب ما شاء الله تحت اسم De Compositione جل الأثر في تطور الآلات العلمية في الغرب اللاتيني، وكما قلنا فقد فقد أصله في العربية.



الصورة رقم (٥ - ٢)

أسطرلاب أندلسي (أو كسفورد)، مخطوطة متحف تاريخ العلوم، (١٤).  
صنع هذا الأسطرلاب سنة ١٠٨١/٤٧٤ بالأندلس، وضعه محمد بن سعيد الصبيان  
ويشير المنكبوت الى موقع ٢٥ نجماً، و به ١٢ صفيحة حفرت لخطوط الطول التي  
تقع عليها المدن العربية. وحفر على «الأم» نفسها جدول تنجيمي دائري. ونقرأ عل  
ظهر هذا الأسطرلاب منازل القمر وتقويماناً أبدياً وسلاماً من درجات لقياس الارتفاعات.



#### الصورة رقم (٥ - ٣)

أسطرلاب كروي (أو كسوفورد، مخطوطة متحف تاريخ العلوم، ٢٥ - ٦٢). صنع هذا الأسطرلاب الكروي أحد الصناعات المسمى «موسى» سنة ١٤٨٥/٨٨٥، وهو الأسطرلاب الكروي الوحيد الذي وجد كاملاً حسبما هو معروف الآن. ولقد وصف العلماء العرب عدة آلات مشابهة ابتداءً من القرن الثالث الهجري/ التاسع الميلادي. واستعمال هذا الأسطرلاب شبيه باستعمال الأسطرلاب الكروي المسطح. وهذه الآلة هي من نحاس مطعم بالفضة، والعنكبوت الذي يتحرك على الدائرة يشير إلى مكان النجوم الثابتة ويبلغ قطره ٨٣ مليمتراً.

كان الأسطرلاب آلة تعليمية بامتياز في القرون الوسطى، لكنه كان أيضاً آلة حسابية، إذ إنه يسمح بحل هندسي سريع للمسائل الرئيسية في علم الفلك الكروي. وهو يقدم عرضاً سهلاً لحركتي الشمس اليومية والسنوية وتتراوح فعلي هاتين الحركتين، الذي ترتبط به المطالع المستقيمة والمائلة، وفترة الساعات غير المتساوية، والبزوغ الشروقي للنجوم، أو تحديد المنازل السماوية في التنجيم. وإذا استرجعنا التقسيم التقليدي لعلم الفلك في القرون الوسطى إلى مجالين مختلفين، هما علم فلك الحركة اليومية للعبة السماوية أو علم فلك الحركة الأولى من جهة، وعلم فلك الكواكب من جهة أخرى، فإن المؤلفات عن الأسطرلاب لا ترتبط بالطبع إلا بالمجال الأول. لذلك، فهي تتضمن القليل من المعطيات التقنية، حيث نجد، بالإضافة إلى مواقع بعض النجوم ميل فلك البروج، وتحديد موضع أوج الشمس في منطقة البروج، وموقع بداية برج الحمل (الاعتدال الربيعي) في التقويم، والموقع هذا مرتبط بحركة المبادرة. وفي أقدم مؤلف لاتيني عن الأسطرلاب، لا يمثل اقتباساً بحثاً عن العربية،

ونعني به مؤلف ريمون المارسييلي<sup>(١٠)</sup>، نجد جدولي نجوم، أحدهما مأخوذ من مؤلفات قديمة تعود إلى للويت البرشلوني وهرمان لو بواتو، والآخر مستعار من الزرقالي (المتوفى في العام ١١٠٠م). وقد أظهر ريمون حساسة كبيرة نحو هذا المؤلف الأخير، ومنه استعار أيضاً موقع أوج الشمس على 50°؛ 17 من برج الجوزاء، وقيمة ميل فلك البروج المقدرة بـ 23° 30'، التي فضلها على القيمة التي أعطاها بطليموس وهي 50°؛ 23. يسمح لنا هذا المثال بملاحظة سمتين بارزتين من سمات التأثير العربي على علم الفلك اللاتيني، تتمثلان بالدور الأساسي الذي تلعبه أعمال الزرقالي، وبوضع القيم والوسائط البطلمية في نظرية الشمس موضع النقاش والنقد.

### جداول طليطة وعلم فلك الكواكب

في العصر الذي اكتسب فيه المؤلف عن الأسطرلاب شكله النهائي، أي في منتصف القرن الثاني عشر للميلاد، لم تعد دراسة هذه الآلة تشكل المدخل الوحيد لللاتينيين إلى علم الفلك التقني، بل إن الأمر أصبح أبعد من ذلك بكثير. فقد تمت، إبان ذلك القرن، ترجمة مجموعة ضخمة من النصوص العربية التي قدمت للفلكيين اللاتينيين حقل دراسات أكثر اتساعاً إلى حد كبير، ونعني بذلك الجداول الفلكية. ونحت هذه التسمية تندرج أنواع كثيرة من المواد التي يمكن تقسيمها تخطيطياً إلى ثلاث مجموعات: تضم المجموعة الأولى العناصر التي تتعلق، مباشرة إلى حد ما، بعلم فلك الحركة الأولى (جداول المطالع المستقيمة والمائلة، وجداول الليل، وجداول معادلة الزمن)؛ وتضم المجموعة الثانية جداول الكواكب وهي مؤلفة من أربعة أجزاء: جداول التسلسل الزمني للأحداث، وجداول الإحداثيات المتوسطة، وجداول المعادلات، وجداول خطوط العرض؛ وأخيراً، تضم المجموعة الثالثة جداول متباعدة لها علاقة باقتران الشمس والقمر وبالحسوف والكسوف، وترتبط كذلك باختلافات المنظر وبنظرية القمر وسائر الكواكب الأخرى...

وقد أفادت ثلاثة مصادر رئيسة، من مجموع هذه المواضيع، في تلقين المعرفة للفلكيين اللاتينيين. وهذه المصادر هي: أولاً قوانين وجداول الخوارزمي (حوالي ٨٧٠م)، وقد ترجم أدلار دو بات (حوالي ١١٢٦م) نصها الذي دققه مسلمة المجرطي. ثم ثانياً جداول البتاني (المتوفى في العام ٣١٧ هـ / ٩٢٩م)، وقد فقدت ترجمتها الأولى التي وضعها روبرت دو

(١٠) نشر هذا المؤلف: Emmanuel Pouille, «Le Traité d'astrologie de Raymond de Marseille»,

Studi medievali, vol. 5 (1964), pp. 866 - 904,

(مع لائحة بالنشرات الموجودة لأعمال لاتينية عن الأسطرلاب، ص. ٨٧٠ - ٨٧٢). انظر أيضاً:

Emmanuel Pouille, «Raymond of Marseille», in: Dictionary of Scientific Biography, 18 vols. (New York: Scribner, 1970 - 1990), vol. 11, pp. 321 - 323.

شستر، ولم يبق سوى القوانين من الترجمة الثانية المائدة إلى أفلاطون التيفولي (Platon de Tivoli)<sup>(١١)</sup>. وأخيراً هناك جداول الزرقالي التي تؤلف نواة للمجموعة المعروفة باسم جداول طليطلة، ويشكل هذا الاسم إشارة إلى خط الزوال المعتمد في هذه الجداول. وقد لقيت الجداول الأخيرة هذه انتشاراً عاماً عبر الغرب اللاتيني كله من خلال الترجمة التي وضعها جيرار دو كريمون (Gérard de Crémone) (المتوفى في العام ١١٨٧م)<sup>(١٢)</sup>.

كان ريمون المارسييلي أحد أوائل اللاتينيين الذين استخدموا جداول عربية المصدر. وقد وضع في العام ١١٤١م مؤلفاً عن حركات الكواكب، يتضمن جداول تسبقها قوانين ومقدمة، حيث يعلن أنه يستند إلى الزرقالي. فجداوله، في الواقع، هي تعديل لجداول الخوارزمي بما يجعلها تناسب التقويم المسيحي وتتوافق مع خط طول مرسييا. واستخدم ريمون، كما في مؤلفه عن الأسطرلاب، القيمة  $30^\circ$  ;  $33^\circ$  ;  $23^\circ$ ، ليل فلك البروج، التي استعارها من الزرقالي. وبالإضافة إلى ذلك، كان على علم بوجود الحركة الذاتية لأوج الشمس التي أوضحها الزرقالي، وقد أعاد كتابة جداول الفلكي العربي من أجل مواقع أوج الشمس وكواكب أخرى. وقد ظهر مؤلف ريمون قبل ثلاثين سنة تقريباً من صدور ترجمتي جيرار دو كريمون لكتاب بطليموس المجسطي<sup>(١٣)</sup>، ولجداول طليطلة. وشكل هذا المؤلف أول دخول إلى الغرب اللاتيني للطريقة البطلمية في حساب مواقع الكواكب (الشكل رقم ٥ - ١)، وذلك بشكل غير مباشر عن طريق استعارة من الزرقالي. وتتلخص الطريقة في القيام بمجموع جبري للحركة المتوسطة، ولمعادلة المركز، ولمعادلة الحصة، مع تصحيح المعادلة الأخيرة بواسطة أجزاء تناسبية. ومن جهة أخرى، يستخلص ريمون من دراسته لجداول الزرقالي الفكرة المعبر عنها بوضوح، والتي تقول إن الجداول الفلكية تتطلب تصحيحات مستمرة. وقد وجد الفلكيون أنفسهم في مواجهة مع هذه التصحيحات ومع المسائل النظرية التي تستتبعها على امتداد القرون الوسطى، كما أصبح من طموحات كوبرنيكوس (١٤٧٣ - ١٥٤٣م) أن يعد في نهاية المطاف جداول صالحة للاستخدام بشكل دائم.

استمرت حركة اقتباس الجداول العربية، وبشكل أساسي جداول طليطلة، في أنحاء

(١١) لا توجد نشرة حديثة لترجمة أفلاطون التيفولي، التي ظهرت في نورمبرغ في العام ١٥٣٧، تحت

نونان: *De scientiis astrorum*.

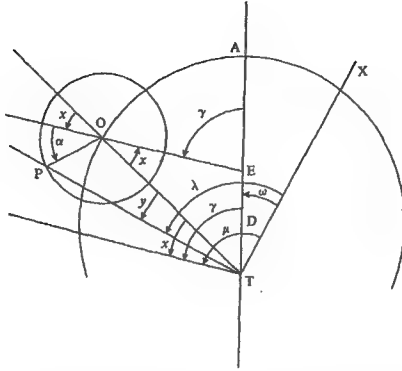
(١٢) لا توجد كذلك نشرة حديثة لجداول طليطلة، لكن سنراجع التحليل المفصل لـ:

G. J. Toomer, «A Survey of the Toledan Tables», *Ostris*, vol. 15 (1968), pp. 5 - 174.

(١٣) توجد لائحة مع شرح للترجمات اللاتينية المنسوبة إلى جيرار دو كريمون، في:

R. Lemay, «Gerard of Cremona», in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 15, pp. 173 - 192.

من أجل الترجمة العربية - اللاتينية لكتاب المجسطي، انظر: Paul Kunitzsch, *Der Almagest: Die* - اللاتينية لكتاب المجسطي، انظر: *Syntaxis Mathematica des Claudius Ptolemaeus in Arabisch - lateinischer Überlieferung* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1974).



الشكل رقم (٥ - ١)

النظرية البطلمية عن حركة الكواكب بخطط الطول (حالة عامة: الكواكب العلوية والزهرة)  
مصطلحات القرون الوسطى: T، مركز الأرض أو العالم؛ D، مركز دائرة  
بطليموس؛ E، مركز اعتدال المسير؛ O، مركز فلك التدوير؛ P، الكوكب؛ X،  
أصل الإحداثيات على فلك البروج (بداية برج الجدي)؛ A، الأوج على فلك  
البروج؛ ω، خط طول الأوج؛ μ، الحركة المتوسطة؛ γ، مركز متوسط؛ α، حصة  
متوسطة؛ x، معادلة المركز؛ y، معادلة الحصة؛ λ، مكان حقيقي.

مختلفة من العالم المسيحي طيلة القرنين الثاني عشر والثالث عشر للميلاد<sup>(١٤)</sup>. وهكذا نستطيع  
أن نذكر جداول لحظ زوال بيزا وضعها أبراهام بن عزرا (Abraham Ibn Ezra) حوالي العام  
١١٤٥م، وجداول لحظ زوال لندن تعود لروبير دو شستر في العامين ١١٤٩ - ١١٥٠م،  
وجداول لمدينة لندن أيضاً وضعها هيرفورد (Hereford) في العام ١١٧٨م، وأخرى منفلة  
معدة لمدن لندن (١٢٣٢م) ومالين (Malines) ونوفار (Novare) وكريمون (Crémone)...

(١٤) انظر بشكل خاص المعلومات التي جمعت في: José Maria Millás Vallicrosa, *Estudios sobre* Azarquiel (Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto «Miguel Asín», Escuelas de Estudios Árabes de Madrid y Granada, 1943 - 1950), pp. 365 - 394.

ومن بين جميع هذه الجداول التي ورد ذكرها، يبدو أن جداول تولوز قد لقيت استخداماً واهتماماً خاصاً، ولا سيما من قبل الفلكيين الباريين، نظراً لقرب خطي زوال باريس وتولوز أحدهما من الآخر. إن العدد الكبير من المخطوطات لجداول طليطلة، التي تعود إلى القرن الرابع عشر وحتى إلى القرن الخامس عشر، يشهد بالإضافة إلى ذلك على الاستمرار في استخدامها حتى بعد أن أصبحت الجداول الأفونسية مفضلة عند الفلكيين الذين أجروا إصلاحات على علم الفلك في باريس، في بداية القرن الرابع عشر. وبالإضافة إلى تأثيرها على الجداول اللاتينية، أثرت جداول طليطلة على الأزياج التي لم تكن معدة لتقديم الوسائل لحساب مواقع الكواكب، بل لتحديد هذه المواقع نفسها. وعلى سبيل المثال، كان هذا هو حال الزيج المعد لمدينة مونبلييه لسنة ١٣٠٠م وما يليها من السنين، وقد وضعه پروفاتوس (Profatus) (ت حوالي ١٣٠٧م) الذي قال إنه هو نفسه قد أخذ أصول زيجيه من جداول طليطلة<sup>(١٥)</sup>.

وجداول طليطلة هذه هي مجموعة متعددة العناصر، فهي تتضمن، إلى جانب أجزاء ترجع إلى جداول الزرقالي نفسها، أجزاء أخرى مأخوذة من الخوارزمي (لمخطوط عرض الكواكب بشكل خاص)، وأخرى من البتاني (بخاصة من أجل جداول معادلات الكواكب)، بالإضافة إلى غيرها من الأقسام التي تعود إلى المجسطي أو إلى الجداول الميسرة لبطلموس وكذلك إلى *De motu octavae sphaerae* المنسوب في القرون الوسطى إلى ثابت ابن قرّة<sup>(١٦)</sup>. يؤدي هذا التنوع في التركيب إلى نتيجة مفادها أن جداول طليطلة تنفرد إلى

(١٥) إن مواقع الكواكب التي تم حسابها انطلاقاً من جداول طليطلة تتوافق بشكل جيد، في الواقع، مع قيم پروفاتوس (Profatus)، كما بين ذلك في: G. J. Toomer, «Prophatius Judaeus and the Toledan Tables», *Isis*, vol. 64, no. 223 (September 1973), pp. 351 - 355.

(١٦) لم يتم إحياء النص العربي لهذا المؤلف. وقد نشرت النسخة اللاتينية التي وضعها جيرار دو كريمون في: Millás Vallicrosa, *Ibid.*, pp. 487 - 509, réimprimé dans: Millás Vallicrosa, *Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española*, pp. 191 - 209, et dans: Francis James Carmody, *The Astronomical Works of Thābit b. Qurra* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1960).

إن نسبة هذا المؤلف غير المؤكدة إلى ثابت هي في الوقت الحاضر موضوع نقاش: يرفض ميليامس فاليكروسا (Millás Vallicrosa) نسبته إلى الزرقالي، التي أبدعها، Pierre Maurice Marie Duhem, *Le Système du monde: Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, 10 vols. (Paris: A. Hermann, 1914 - 1959), vol. 2, pp. 246 et ss.

لكن الأصل الإسباني قد دافع عنه من جديد: Faiz Jamil Ragep, «Cosmography in the Tadhkirah of Naṣir al-Dīn al-Ṭūsī» (Unpublished Doctoral Dissertation, Harvard University, Department of History of Sciences, 1982), pp. 219 - 229.

هناك ترجمة مع شرح موجودة في: Otto Neugebauer, «Thābit ben Qurra «On the Solar Years» and «On the Motion of the Eighth Sphere»» *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 106, no. 3 (June 1962), pp. 264 - 299.



خطط فلكي تحتي متماسك، كما أن الحسابات فيها مبنية على قيم للوسائط مختلفة ومتنافرة. فعلى سبيل المثال، تم حساب جدول اختلافات المطلع باعتماد قيمة ليل فلك البروج تساوي  $51^\circ$  و  $23^\circ$ ، وهي موجودة في الجداول الميسرة، في حين تم حساب جدول المطلع المستقيم باعتماد القيمة  $35^\circ$  و  $23^\circ$  التي استخدمها البتاني. هناك مثال آخر، حيث تم حساب الأعمدة التي تولف جدول معادلة الزهرة انطلاقاً من قيمتين مختلفتين للاختلاف المركزي لهذا الكوكب. إن غياب أي تحليل هندسي لحركات الكواكب في القوانين المقتضرة على سرود لطرق إجراء الحسابات، جعل، وبشكل مؤكد، نقد جداول طليطة أكثر صعوبة بالنسبة إلى اللاتينيين الأوائل الذين استخدموها. لذلك فقد أقر هؤلاء ضمناً بالقيم الجديدة للوسائط المستخدمة فيها.

إن السمات المميزة للجدول اللاتينية من القرنين الثاني عشر والثالث عشر للميلاد هي إذاً نفسها سمات جداول طليطة، وهي في الأساس منها انعكاس للتعديلات التي أدخلها الفلكيون العرب في القرن التاسع للميلاد على النظرية البطلمية. وتتناول هذه التعديلات بالدرجة الأولى قيم الوسائط الشمسية، التي كانت نوعية تحديدها عند بطليموس رديئة جداً. وقد أدت الأرصاد التي أجريت في الشرق في القرن التاسع للميلاد، أي بعد بطليموس بحول سبعة قرون، إلى تقديرات مختلفة عن تقديرات هذا الأخير<sup>(١٧)</sup>، بالنسبة إلى طول السنة المدارية وسرعة حركة المبادرة وميل فلك البروج ( $33^\circ$  و  $23^\circ$  وفقاً لفلكي المأمون، و  $35^\circ$  و  $23^\circ$  وفقاً للبثاني عوضاً عن القيمة  $51.20^\circ$  و  $2^\circ$  التي وردت في المجسطي)، والاختلاف المركزي للشمس ( $4.45^\circ$  و  $2^\circ$  جزءاً وفقاً للبثاني،  $29.30^\circ$  و  $2^\circ$  جزءاً وفقاً لبطليموس) وموقع أوج الشمس (حل  $30^\circ$  و  $65^\circ$  من بداية برج الحمل وفقاً لبطليموس، حل  $17^\circ$  و  $82^\circ$  وفقاً للبثاني، حل  $45^\circ$  و  $82^\circ$  وفقاً لـ *De anno solis* المنسوب إلى ثابت بن قرة<sup>(١٨)</sup>).

إن اكتشاف الفلكيين العرب للاختلافات بين القيم التي حصل عليها بطليموس وقيمهم الخاصة وضمهم أمام مسألة دقيقة بقي صدها يتردد باستمرار، وصولاً إلى كوبرنيكوس نفسه. تتلخص المسألة على الشكل التالي: هل يمكن تفسير هذه الاختلافات بأخطاء في الأرصاد، أم بتغييرات على أمد طويل في قيم الوسائط، التي تعبر في هذه الحالة عن وجود حركات لم يتم رصدها حتى ذلك الحين؟ اجتمع التفسيران منذ القرن التاسع للميلاد. الأول قدمه البتاني، الذي لم يشكك بالنماذج الحركية البطلمية، والذي اكتفى

(١٧) نستعمل معظم القيم التي تلي من: Willy Hartner, «Al-Battānī», in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 1, pp. 507 - 516.

(١٨) درس كارمودي النسخة اللاتينية، ونسب أبوها إلى جيراردو كرمون. انظر: Carmody, *The Astronomical Works of Thābit b. Qurra*.

وقد رأى ويكس مورلون (Régis Morelon) أن هذه النسبة مشكوك فيها، وهو علاوة على ذلك يعتبر أن الأصل العربي قد كتب في عيط بني موسى ولا يعود إلى ثابت: انظر: Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie*, texte établi et traduit par Régis Morelon (Paris: Les Belles lettres, 1987), pp. xivi - lii.

باعتقاد حركة مبادرة أكثر سرعة من حركة بطليموس (درجة واحدة في ٦٦ سنة عوضاً عن درجة في ١٠٠ سنة). أما التفسير الآخر فقد قدمه مؤلف كتاب *De motu octavae sphaerae*، الذي افترض، بالإضافة إلى ذلك، أن التغيرات المحتملة في قيم الوسائط الشمسية هي دورية. ويهدف تحليل هذا الأمر، فقد تصور نموذجاً<sup>(١٩)</sup> يقدم في آن واحد تغيراً دورياً في المبادرة وبالتالي في طول السنة المدارية، وتغيراً دورياً في ميل فلك البروج. باختصار، يتضمن هذا النموذج فلكين للبروج: أحدهما ثابت ومائل بقيمة 33°؛ 23 على خط الاستواء الذي يقطعه فلك البروج هذا في نقطتين تسميان بداية برج الجدي وبداية برج الميزان. تعتبر هاتان النقطتان كمركزين لدائرتين صغيرتين، ترسمهما بداية برج الجدي وبداية برج الميزان، ويتبع هذان البرجان إلى فلك بروج آخر متحرك (لكنه ثابت بالنسبة إلى النجوم)، ويقطع هذا الفلك بدوره خط الاستواء في النقطتين الاعتداليتين. وعندما تكمل بداية برج الجدي المتحرك، التي هي أصل الإحداثيات النجمية، دورة كاملة على دائرتها الصغيرة، فإن النقطة الربيعية تنساق في حركة تذبذبية على خط الاستواء. وقد تم اختيار قيم الوسائط في هذا النموذج بشكل يحدث أثراً أقصى هو 45° ± 10 درجة (أي المسافة بين بداية برج الحمل المتحرك والنقطة الربيعية)، وكانت قيمة دورة الحركة التذبذبية تعادل ٤١٦٣,٣ سنة عربية (أي ما يعادل ٤٠٣٩,٢ سنة مسيحية). وقد كانت جداول *De motu*، الموافقة لهذا النموذج الهندسي، مدرجة دون تغيير في جداول طليطلة، التي ضمنت حتى نهاية القرن الثالث عشر نجاحاً لا جدال فيه لهذه النظرية عن حركة تذبذبية للاعتدالين، سميت في لغة القرون الوسطى بالكلمتين «accesio» و«recession» اللتين تشكلان ترجمة للمصطلحين العربيين «إقبال» و«إدبار»<sup>(٢٠)</sup>.

أما فيما يتعلق بالكواكب، فإن حساب حركاتها في جداول طليطلة ينتج عن الأخذ بعين الاعتبار بثلاث كميات، هي الحركة المتوسطة وتصحيحان يسميان بمعادلة المركز ومعادلة الحصة. إن هذين التصحيحين ليسا سوى تعبير، في العملية الحسابية، عن عدم انتظام ناجم عن وجود اختلافات مركزية وعن وجود أفلاك تدوير في الإنشاءات الهندسية البطلمية. يتعلق عدم الانتظام، إذاً، بالنسبة إلى كل كوكب، باختلافه المركزي ونسبة شعاع فلك التدوير إلى شعاع دائرة بطليموس<sup>(٢١)</sup>. ومن الملاحظ أن الإحداثيات المتوسطة المدونة في جداول طليطلة (الحركة المتوسطة للكواكب العلوية، والحصة المتوسطة للكواكب

(١٩) حول هذا النموذج، وحول نظريات المبادرة بشكل عام في القرون الوسطى، انظر:

R. Mercier, «Studies in the Medieval Conception of Procession», *Archives Internationales d'histoire des sciences*: vol. 26 (1976), pp. 197 - 220, et vol. 27 (1977), pp. 33 - 71.

(٢٠) نجد حل سبيل المثال تحليل عدد من النصوص المرتبطة بهذه الترجمة في:

John David North, *Richard of Wallingford: An Edition of His Writings*, 3 vols. (Oxford: Clarendon Press, 1976), vol. 3, pp. 238 - 270.

(٢١) سماها العرب القدامى «الحمل» أو «الفلك الحمل».

السفلية) وإن بدت مستقلة عن الجداول السابقة المعروفة، إلا أن جداول المادلات في الأساسي منها، هي جداول البتاني نفسها، وهي مشتقة عن الجداول الميسرة لبطلميوس. غير أن جدول معادلة مركز الزهرة يشكل الاستثناء الرئيس فيما يتعلق بالمصدر البطلمي لجداول معادلات الكواكب، وهو مشابه لجدول البتاني، لكنه يختلف تماماً عن الجدول الوارد في الجداول الميسرة. والسبب هو أن جدول البتاني يفترض أن مركز فلک تدوير الزهرة يتطابق مع الشمس المتوسطة، لذلك يجب أن يكون الاختلاف المركزي للزهرة مساوياً للاختلاف المركزي للشمس. وهذا المفهوم، الذي شاع لدى الفلكيين العرب وفق ما ذكره البيروني (ت ١٠٤٨م)<sup>(٢٢)</sup> هو الذي استعاده هنا مؤلف جداول طليطة.

إذا استثنينا حالة الزهرة، نجد أن بقاء جداول المادلات بطلمية الأصل يعني أن بنية النماذج الهندسية للكواكب، التي تركز عليها جداول طليطة ومن ثم الجداول اللاتينية المشتقة عن الجداول الأولى، بقيت هي نفسها منذ بطلميوس. بالمقابل، فإن وضع هذه النماذج في نظام الإسناد، المؤلف من نظرية الشمس المقترنة بنظرية حركة النجوم الثابتة، قد يعدل كلياً بالنسبة إلى المفهوم البطلمي. فقد أظهر الفلكيون العرب في القرن التاسع للميلاد أن موقع أوج الشمس متغير (في نظام إحداثيات مدارية)، كما حدوا لحركة الأوج قيمة مشابهة لقيمة حركة المبادرة (درجة واحدة في ٦٦ سنة). بذلك يكونون قد افترضوا أن هاتين الحركتين متماثلتان، أي أن أوج الشمس ثابت، لكن ليس بالنسبة إلى الاعتدال، كما هو الأمر عند بطلميوس، بل بالنسبة إلى كرة النجوم. وقد نتج عن هذا التغيير أن كرة النجوم هي التي استخدمت منذ ذلك الحين كأسناد لحركات الكواكب. وهكذا، فإن جداول طليطة قد حددت بإحداثيات نجمية، في حين أن الجداول البطلمية كانت مبنية بإحداثيات مدارية. لذلك فبعد تحديد المواقع الحقيقية للكواكب على كرة النجوم الثابتة، أو الكرة الثامنة وفق التعبير في القرون الوسطى، بواسطة جمع جبري للحركة المتوسطة وللمعادلات، فقط بعد هذا التحديد يتم حساب المواقع على الكرة التاسعة (أو كرة فلک البروج غير المتحرك) بإضافة معادلة حركة الإقبال والإدبار، وذلك لكي تؤخذ بعين الاعتبار حركة «ارتجاج» النجوم، ومن ثم حركة أوج الكواكب بالنسبة إلى النقطة الربيعية. وقد لقيت هذه العملية، الموروثة عن جداول طليطة، استخداماً مستمراً في علم الفلك اللاتيني حتى نهاية القرن الثالث عشر للميلاد.

## نظرية الكواكب والتحليل الهندسي للمظاهر

إذا كانت الجداول الفلكية ترضي من يمارس التطبيق بالسماح له بتحديد موقع نجم ما بخط الطول وخط العرض في أية لحظة، فإنها لا تقدم أية معلومات مباشرة في مجالين

Toomer, «A Survey of the Toledan Tables», p. 65.

(٢٢) انظر:

يولفان النظرية الفلكية، وفقاً لكبلر، ونعني بها دراسة الفرضيات ودراسة أسبابها. وقد تشكل هذان المجالان في الغرب اللاتيني في القرن الثالث عشر للميلاد، وهنا أيضاً نرى أن التأثير العربي قد لعب دوراً كبيراً. وقد أصبح تكوّن هذا الحقل الجديد من الأبحاث ممكناً من خلال ظهور طراز جديد من النصوص الفلكية، هي «*theoricae planetarum*» التي كان هدفها عرض النماذج الحركية القادرة على تصوير الحركات السماوية بالشكل الأكثر أمانة. وقد فضل اللاتينيون وصفاً أكثر إيجازاً لنظام العالم وفقاً لبطلميوس، على البراهين الموزعة في التقنية الواردة في المجسطي، والنموذجان الأوليان لهذا النظام كانا عمليين عربيين. أحد هذين العاملين هو المدخل إلى علم الفلك البطلمي والمعاند إلى الفرغاني، وقد ظهر بعنوان *Differentie scientie astrorum* في الترجمة التي وضعها يوحنا الأشبيلي في العام ١١٣٧م، وكذلك بعنوان *Liber de aggregationibus scientiae stellarum* في ترجمة جيرار دو كريمون. أما العمل الثاني فهو كتاب مماثل وضعه ثابت بن قرة (المتوفى عام ٢٨٨ هـ / ٩٠١م)، وقد ترجمه أيضاً جيرار دو كريمون، وعرف بعنوان *De his que indigent antequam legatur Almagesti*<sup>(٢٣)</sup>. وعلى غرار هذين العاملين العربيين، تقتصر مؤلفات القرون الوسطى اللاتينية السمة «*theoricae planetarum*»، في أغلب الأحيان على عرض التصورات الفلكية الأساسية والتنظيم العام للدوائر المستخدمة في تمثيل حركات الكواكب. وينطبق هذا الأمر، بشكل خاص، على المؤلف الأوسع انتشاراً من بين جميع مؤلفات القرون الوسطى، المعروف باسم *Theorica planetarum Gerardi*<sup>(٢٤)</sup>، الذي نجعل هوية كاتبه، لكن تاريخه يعود إلى الأرجح إلى بداية القرن الثالث عشر للميلاد. إن التصميم الهندسي التي وصفت في هذا المؤلف الأخير *Theorica* مطابقة للإنشاءات البطلمية، باستثناء تلك المتعلقة بالتحديد المغلوط لإقامات الكواكب بواسطة المماسات، والمتعلقة بنظرية خطوط عرض الكواكب. وحول هذه النقطة الثانية، هناك تقليدان معروفان في القرون الوسطى: الأول مثله المجسطي وتابعه البتاني بالإضافة إلى ترجمة مفصلة لجداول طليطلة، والآخر نشأ عن الطرق الهندية وانتقل إلى الغرب بواسطة جداول الخوارزمي، ومن خلال الترجمة التي وضعها جيرار دو كريمون لجداول طليطلة. إن الطريقة الثانية مبنية على تنظيم لميول (جمع ميل) مستويات مختلف الدوائر المثلثة لحركات

(٢٣) نشرت هذه الترجمة في: Carmody, *The Astronomical Works of Thābit b. Qurra*.

نجد النص العربي الأصلي، مع ترجمة فرنسية وشرح لمولون، في: Thābit Ibn Qurra, *Oeuvres*. *d'astronomie*.

(٢٤) بالإضافة إلى النشرة (انظر قائمة المراجع)، يمكن مراجعة الترجمة الإنكليزية لـ أ. يدرسين

Edward Grant, ed., *A Source Book in Medieval Science*, Source: التي ظهرت في: (O. Pedersen)

*Books in the History of the Sciences* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974), pp. 451 - 465.

الكواكب، منابر للتنظيم الذي اعتمده بطليموس، لذلك تؤدي هذه الطريقة بالطبع إلى عمليات حسابية مختلفة عن عمليات المجسطي. وقد استند مؤلف *Theorica Gerardi* إلى هذه العمليات بالذات، وساهم بشكل واسع في انتشارها حتى بداية القرن الرابع عشر، وهو العصر الذي أعادت فيه الجداول الألفونسية الأولية إلى العمليات البطلمية.

إن المؤلف المعروف بـ *Theorica planetarum Gerardi* هو شكل مختصر لمؤلفات «*theoricae*» في القرون الوسطى، وهو لا يقدم أية إشارة إلى وسائل الإنشاءات الهندسية، ولا إلى سرعات دوران عناصرها المتحركة. بالمقابل، إن المؤلف *Theorica planetarum* هو الشكل الأكثر تطوراً لـ «*theoricae*» في القرون الوسطى، وقد وضعه كميانوس دو نوفار بين العامين ١٢٦١ و١٢٦٤م، وهو يجمع بين عرض نظري مفصل لعلم الحركة البطلمي الخاص بحركات الكواكب وبين وصف الأدوات المختصة بتمثيل هذه الحركات، ويشكل هذا الوصف أول مؤلف لاتيني عن «الصفحة الجامعة لتقويم الكواكب» (*équatoire*). وبعد إدراجه في البرامج الجامعية خلال القرن الرابع عشر، وفر *Theorica* العائد لكميائوس انتشاراً واسعاً للمواد التي أخذها عن مؤلف الفرغاني، الذي يعتبر المصدر الأهم بعد بطليموس لـ *Theorica*. ويضيف كميانوس، على غرار الفرغاني، إلى ملخص المجسطي معلومات حول نظام الكرات السماوية، فيكمل وصف كل نموذج كوكبي من خلال تقدير أبعاد كل جزء من أجزاء هذه النماذج. وبما أن كميانوس نفسه وضع لمدينة نوفار جداول فلكية مبنية على جداول طليطة، فقد استعار من هذه الجداول الأخيرة عدداً لا بأس به من قيم الوسائط. وهكذا أخذت جميع وسائط أوج الكواكب من جداول طليطة، بما في ذلك وسيط أوج الشمس التي تخضع لحركة المبادرة، كما هو الأمر عند الفلكيين العرب. يعتمد كميانوس، كذلك، القيم الطليطية من أجل الحركات المتوسطة للكواكب العلوية، ومن أجل الحصة المتوسطة لعطارد، لكنه يعتمد القيمة المأخوذة من جداول نوفار الخاصة به من أجل الحصة المتوسطة للزهرة. كما يتبنى أيضاً جداول طليطة بالنسبة إلى المسافات بين إقامة وأرج. وأخيراً يعتمد، على غرار هذه الجداول، القيم البطلمية للاختلافات المركزية لأفلاك التدوير ولأطوال شعاعات الأفلاك، وذلك بالنسبة إلى مختلف الكواكب (باستثناء المريخ، حيث إن الفارق عائد إلى خطأ على الأرجح).

أما فيما يتعلق بأبعاد العالم، فإن العناصر الأساسية في هذا المؤلف مأخوذة عن بطليموس، وهي الأبعاد المقارنة لكرات الأرض والقمر والشمس. ويكون ذلك وفق مبدأ تجاوز الكرات السماوية الذي يسمع، شيئاً فشيئاً، بحساب الأبعاد النسبية لكرات الكواكب وصولاً إلى زحل، ومن بعد إلى النجوم الثابتة. وبالمقابل، فإن جميع تقديرات كميانوس، بالقيم المطلقة، مبنية على تخمين طول درجة خط العرض الأرضي، الذي وجدته عند الفرغاني (56 2/3 ميلاً)، ثم أدرجه ثانية في الحسابات البطلمية للعناصر الأساسية (قطر الأرض وقطر الشمس والمسافة بين الأرض والشمس، ... الخ). وباستخدامه أيضاً

لعظم الأجرام السماوية نفسها، الذي أخذه عن الفرغاني، وجد كميانوس بذلك نفسه قادراً على حساب أبعاد جميع أجزاء نظام العالم.

ومن أجل تقديم ملخص بخطوط عريضة، نستطيع القول إن ثلاثة تأثيرات مهمة قد تركت طابعها على صورة علم الفلك في القرون الوسطى في القرن الثالث عشر للميلاد، التي رسمها مؤلف كميانوس *Theorica planetarum* بطريقة نموذجية. وهذه التأثيرات هي تأثير بطليموس على النماذج الهندسية وقيم مساطها، وتأثير جداول طليطلة على الإحداثيات المتوسطة للعناصر المتحركة العائدة لهذه النماذج، وأخيراً تأثير الفرغاني، ومن خلاله تأثير كتاب بطليموس في أصول حركات الكواكب المتصورة على البنية الكوزمولوجية للكون. وفي هذه الصورة، تبقى مسألتان رئيسيتان مطروحتين للبحث: الأولى هي مسألة حركة كرة النجوم، التي يكتفي بصددها كميانوس بإشارات تذكر، جنباً إلى جنب، الحركة البطلمية وقيمتها درجة في كل مئة عام، وحركة الإقبال والإدبار المنسوبة إلى ثابت بن قرة دون تحديد قيمتها؛ والمسألة الثانية هي حقيقة النماذج الحركية البطلمية.

## مسألة أساس الفرضيات

تعرّف الغرب اللاتيني، من خلال المؤلفات النظرية *theoricae*، على الفرضيات البطلمية التي بقيت مضمنة في الجداول وقوانينها. وفي ذلك العصر، اطلع الغرب كذلك من خلال ترجمات ميشال سكوت (Michel Scot) (ت حوالي ١٢٣٦م) على شروحات ابن رشد (المتوفى في العام ١١٩٨م) حيث تتعرض هذه الفرضيات إلى النقد الحاد<sup>(٢٥)</sup>. ففيزياء أرسطو تقضي في الواقع ألا تملك المادة السماوية سوى حركة الدوران المنتظم لكرات متحدة المركز. لذلك كان من السهل على ابن رشد أن يكشف، وفق متطلبات هذه الفيزياء، عن وجود تناقضات في علم الفلك الذي يتضمن أفلاكاً مختلفة المركز وأفلاك تدوير. وقد تلقى اللاتينيون في الوقت نفسه، بالإضافة إلى نقد ابن رشد الجذري، الترجمة التي وضعها ميشال سكوت في العام ١٢١٧ لمؤلف البطروجي (حول ١٢٠٠م) الذي ترجم إلى اللاتينية تحت عنوان *De motibus celorum*، حيث يحاول الكاتب أن يعدل علم الفلك لكي يتوافق مع فيزياء أرسطو. ويمكن فهم نماذج البطروجي، في مبدأها، كنوع

---

(٢٥) إن مقاطع الشروحات حول مؤلفات أرسطو، حيث ينتقد ابن رشد علم الفلك البطلمي، جمعت في مقالة: Francis J. Carmody, «The Planetary Theory of Ibn Rushd», *Ostris*, vol. 10 (1952), pp. 556 - 586.

حول نقد العلماء العرب من إسبانيا لبطليموس، انظر: A. I. Sabra, «The Andalusian Revolt against Ptolemaic Astronomy: Averroes and al-Bitrūjī» in: Everett Mendelsohn, ed., *Transformation and Tradition in the Sciences: Essays in Honor of I. Bernard Cohen* (Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1984), pp. 133 - 153.

من التجديد للنماذج متحدة المركز العائلة لأودوكس (Budoze)، التي تبناها أرسطو. ويتناول هذا التجديد ميول محاور كرات الكواكب التي أصبحت متغيرة، حيث إن حركة كل كرة تقاد بحركة قطبها الذي يرسم فلك تدوير صغيراً بالقرب من قطب خط الاستواء.

إن التعرف إلى هذه النصوص كان مصدر جدال طويل في القرون الوسطى حول أساس الفرضيات<sup>(٢٦)</sup>، إذ نجد منذ العام ١٢٣٠ م صدى مؤلف البطروجي، الذي ما زال مشوشاً، عند كاتب مثل غليوم دوفرني (Guillaume d'Auvergne) (١١٨٠ - ١٢٤٩م)، ثم بعد ذلك بفترة قصيرة من الزمن عند روبر غروستست (Robert Grosseteste) (١١٧٥ - ١٢٥٣م). أما ألبيير الكبير (Albert le Grand) (المتوفى في العام ١٢٨٠م)، فقد أعجب بأحد أكثر الأشكال تبسيطاً لنظرية البطروجي، ونعني بهذا الشكل محاولة تفسير كل المظاهر السماوية بواسطة محرك واحد يقود جميع الكواكب في حركة سريعة إلى حد ما نحو الغرب، مما يسمح بتحليل حركاتها الذاتية الظاهرية نحو الشرق. وفي ختام مناقشته، يرفض ألبيير نقد ابن رشد للأفلاك مختلفة المركز ولأفلاك التدوير، بحجة أن الأجرام السماوية تختلف عن الأجسام الأرضية من حيث المادة والشكل. كذلك، يرفض علم فلك الكرات متحدة المركز، لأن «علم الفلك هذا لم يستكمل برصد قيمة الحركات» حسبما يقول. وهكذا، يبرز ألبرتوس عدم قدرة علم الفلك هذا على التحليل الكمي للمظاهر، مما يشكل نقصاً عانت منه فرضية البطروجي باستمرار في القرون الوسطى. ويفسر هذا النقص لامبالاة الفلكيين نحوها.

ومن جهة أخرى، فإن الشكوك والانتقادات الموجهة إلى بطليموس، التي أثارها أعمال ابن رشد والبطروجي، أدت إلى تعمق في التفكير حول وضع النظريات الفلكية، وإلى ظهور موضوعات ستعود وتقفز إلى الواجهة في القرن السادس عشر خلال الجدل بين فرضيات بطليموس وفرضيات كوبرنيكوس. وقد عبر توما الأكويني (Thomas d'Aquin) (١٢٢٥ - ١٢٧٤م) عن هذه الموضوعات بوضوح، عندما قال إن الافتراضات التي تصورها الفلكيون ليست حقيقية بالضرورة، حتى وإن بدت قادرة على تبرير المظاهر، إذ إننا ربما استطعنا شرح هذه المظاهر بعملية ما مختلفة لم يتم تصورها حتى الآن. يقابل توما بذلك بين طريقتين لتحليل ظاهرة ما، تتلخص الأولى في الإثبات الكافي لمبدأ ما تنتج منه الظاهرة، وتتخلص الثانية بتوضيح توافق ما بين الظاهرة وبين مبدأ ما موضوع مسبقاً. ويرأي توما، يستخدم علم الفلك العملية الثانية التي تكفي لتبرير وتفسير المظاهر المحسوسة.

في هذا الجدل الدائر بين الفيزياء وعلم الفلك، الذي كان أرسطو وبتليموس بطليه في عصر سيمبليسيوس، والذي تجدد على شكل مجابهة بين بطليموس والبطروجي، وجد

(٢٦) حول هذا الموضوع، انظر: Duhem, *Le Système du monde: Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, vol. 3, pp. 241 - 498 et passim.

بعض اللاتينيين من أتباع الفلسفة المدرسية عنصر حل في مؤلف كاتب عربي آخر، هو هيئة العالم لابن الهيثم (المتوفى حوالي ١٠٤١م)، وقد حفظت ثلاث ترجمات لاتينية مغفلة عنه (تعود إحداها إلى العام ١٢٦٧م)<sup>(٢٧)</sup>. يشكل هذا المؤلف وصفاً للكون من دون أداة رياضية، حيث يستعيد ابن الهيثم أنظمة الأفلاك المجسمة التي تصورها بطليموس في كتابه في أصول حركات الكواكب المتحركة. ويتصوير بياني، فإن كرة كل كوكب تتألف من فلك متحد المركز مع الأرض، وفيه يقع فلك مختلف المركز يتضمن دائرة بطليموس وفلك التدوير. ويملك جزء الفلك متحد المركز، وأحدها داخلي والآخر خارجي بالنسبة إلى الفلك مختلف المركز، سماكتين مختلفتين وتحدد وظيفتهما في موازنة الاختلاف المركزي إلى حد ما، وفي جعل كرة الكواكب بمجموعها متحدة المركز مع العالم. وقد قدم روجر بيكون (Roger Bacon) (ت ١٢٩٤م) في مؤلفه *Opus tertium* هذا التفسير الفيزيائي لعلم الفلك البطلمي كتصور حديث (*ymaginatio modernorum*) تم ابتكاره. يهدف تجنب مساوئ نظام الأفلاك مختلفة المركز وأفلاك التدوير. ويرأي الكاتب، يطل هذا التفسير اعتراضات ابن رشد، وبالعكس من ذلك، فإن تغيرات مسافات الكواكب وعدم انتظام حركاتها تبدو بالنسبة إلى الكاتب كتأكيدات لفرضيات بطليموس. وسيعتمد هذا الرأي أيضاً العديد من أساتذة القرون الوسطى، مثل برنار دو فردان (Bernard de Verdun) ورينارد دو ميدلتون (Richard de Middleton) ودنز سكوت (Duns Scot) وغيرهم.

إن قصور نظام البطرورجي عن تحليل أرصاء بسيطة تتعلق، على سبيل المثال، بالإختلاف المركزي للكواكب - وهذا القصور كشفه أيضاً ريجيومونتانوس (Regiomontanus) المتوفى في العام ١٤٧٦م في نهاية القرون الوسطى - بالإضافة إلى أهلية التصور «*ymaginatio*» الموروثة عن ابن الهيثم في الرد على انتقادات ابن رشد، قد ضمنا انتصار الفرضيات البطلمية وتفسيرها الفيزيائي بمساعدة أفلاك ابن الهيثم. وقد وجد العرض الأكثر إنجازاً المتعلق بهذا التفسير في نهاية القرون الوسطى في المؤلف *Theoricae novae planetarum* الذي وضعه جورج پورباش (Georg Peurbach) في العام ١٤٥٤م، والوصف الوارد في هذا المؤلف للأفلاك السماوية قد اعتمد كعرض «قانوني» لبنية السموات حتى ذلك الوقت الذي رفض فيه تيكو براهي (Tycho Brahe) (١٥٤٦ - ١٦٠١م) الوجود نفسه للكرات السماوية.

(٢٧) إن إحدى هذه الترجمات، التي يبدو أنها وضعت عن نسخة إسبانية (مفقودة) معدة لافونس العاشر، قد نشرت من قبل: José María Millás Vallicrosa, *Las traducciones orientales en las manuscritos de la Biblioteca Catedral de Toledo* (Madrid: [n. pb.], 1942), pp. 285 - 312.  
حول الصورات الفلكية لابن الهيثم، انظر: A. I. Sabra, «An Eleventh - Century Refutation of Ptolemy's Planetary Theory,» in *Science and History: Studies in Honor of Edward Rosen*, edited by Erna Hilfstein, Pawel Czartoryski and Frank D. Grande, *Studia Copernicana*; 16 (Wroclaw: Ossolineum, 1978), pp. 117 - 131.



## مسألة المبادرة والتخلي عن جداول طليطة

شكل العائق الثاني الكبير الذي اعترض فلکبي القرون الوسطى، والمتعلق بحركة المبادرة، صعوبة أكبر في تجاوزه. وقد كتب الفلكي الباريسي يوحنا الصقلي<sup>(٢٨)</sup> (Jean de Sicile) شرحاً، يعود على الأرجح إلى العام ١٢٩١م، حول الترجمة التي وضعها جبرار دو كريمون لقوانين الزرقالي الخاصة بجداول طليطة. ويعدد هذا الفلكي في شرحه الفرضيات المختلفة التي يراها مرتبطة بمسألة المبادرة، وهي الحركة المنتظمة المقدرة وفقاً لبطلميوس بقيمة درجة واحدة كل ١٠٠ عام، ووفقاً للباني بقيمة درجة واحدة كل ٦٦ عاماً، وحركة الذهاب والإياب بقيمة درجة كل ٨٠ عاماً وبسعة ثماني درجات، والتي استبعدا الباني؛ ثم حركة الإقبال والإدبار الواردة في المؤلف *De motu octavae sphaerae* المنسوب إلى ثابت بن قرة. ومن جهته، يرفض هذا الفلكي حركة الإقبال والإدبار، ويلتزم بالتصور البطلمي عن الحركة المنتظمة، معتبراً أن قيمتها الصحيحة غير مؤكدة. وبذلك، يكون يوحنا الصقلي الشاهد على عدم ثقة الوسط الفلكي الباريسي في ذلك العصر بالنظرية الواردة في *De motu*، وبشكل أهم بجداول طليطة.

في الواقع، وفي نهاية القرن الثالث عشر للميلاد، لم يعد مقبولاً ذلك الفارق بين المواقع التي تم حسابها انطلاقاً من جداول طليطة أو من الجداول اللاتينية المشتقة عنها، وبخاصة جداول تولوز، وبين المواقع المرصودة للكواكب. وهكذا، فإن غليوم دو سانت كلود<sup>(٢٩)</sup> (Guillaume de Saint-Cloud)، بالاستناد إلى أرصاد أجراها بهدف إعداد زيج، قدر الفارق بين مواقع الأوج المتحرك ومواقع الأوج الثابت على الكرة الثامنة بقيمة 10° 13° للعام ١٢٩٠ وبقيمة 15° 10° للعام ١٢٩٢م. عندها، ويعد أن لاحظ أن هذا الفارق هو أكبر بمقدار درجة تقريباً من القيمة التي يمكن أن تنتج عن حساب يتم وفقاً لقانون الحركة الموضوع في *De motu octavae sphaerae*، استنتج خلاصة تقول برفض هذا القانون، كما سلم بأن حركة المبادرة يجب اعتبارها، على الأقل بشكل مؤقت، منتظمة بمعدل درجة في العام (وهي قيمة قريبة من تلك القيمة التي حصل عليها الباني). وفيما يتعلق من جهة أخرى بالحركات المتوسطة للكواكب، فقد أدخل غليوم تصحيحات تجريبية إلى جداول طليطة، بإضافة أو بطرح كميات ثابتة، هي 15° + 1° لـ زحل، 1° - للمشتري،

(٢٨) انظر: Emmanuel Poulle, «John of Sicily», in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 7, pp. 141 - 142.

(٢٩) حول هذا الفلكي وحول التيم الوارد ذكرها، انظر: Emmanuel Poulle: «William of Saint-Cloud», in: *Ibid.*, vol. 14, pp. 389 - 391, and *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Équatoires et horlogerie planétaire du XIII<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle, hautes études médiévales et modernes*, 42, 2 vols. (Paris: Dröz - Champion, 1980), pp. 68 and 209.

3° - للمريخ، 22° + 0؛ للقمر. كذلك، اقترح كاتبان باريسيان آخران هما پيار دو سانت أومر (Pierre de Saint-Omer) وج. مارشيني<sup>(٢٠)</sup> (G. Marchionis) هذه التصحيحات نفسها في مؤلفيهما عن «الصفحة الجامعة» الموضوعين في العامين ١٢٩٤ و ١٣١٠م على التوالي. وبالإضافة إلى ذلك، قدر پيار دو سانت أومر الفارق بين الأوج الثابت والأوج المتحرك بقيمة 10°؛ 10، وذلك بالاستناد إلى تقديرات غليوم دو سانت كلود لحركة المبادرة، التي استلهمها أيضاً على الأرجح پروفاتيوس (Profatius) في مؤلفه عن الصفحة الجامعة للموضوع بين العامين ١٣٠٠ و ١٣٠٦م. وهكذا تشهد مجموعة من النصوص العائدة إلى أواخر القرن الثالث عشر للميلاد كحد أقصى على نهاية تأثير لم يكن له منازع لجدول طليطلة. فقد كف فلكيو ذلك العصر عن اعتبارها وافية للغرض. ورفضوا بشكل خاص حركة الإقبال والإدبار وأثروا عليها حركة منتظمة للمبادرة.

لكن هذه الانتقادات لم تمارس مع ذلك تأثيراً إلا لفترة قصيرة من الزمن. ففي بداية القرن الرابع عشر للميلاد، تم استبدال جداول طليطلة في علم الفلك اللاتيني بالجدول الألفونسية. ولم يبق من الجدول التي كتبت بالاسبانية خصيصاً للكونت ألفونس العاشر القشتالي بين العامين ١٢٥٢ و ١٢٧٢م، سوى القوانين الواردة فيها. وبالمقابل، فإن النسخة اللاتينية، التي ظهرت في باريس في العام ١٣٢٠م، هي التي هيمنت منذ ذلك الوقت على علم الفلك الذي يعتمد على الجداول حتى صدور مؤلف كوبرنيكوس *De revolutionibus* في العام ١٥٤٣م. وفي أول محاولة معروفة متعلقة بعلم الفلك الجديد، متمثلة في المؤلف *Expositio tabularum Alfonsi regis Castellae*<sup>(٢١)</sup> الموضوع في العام ١٣٢١م، يلتزم جان دو مور (Jean de Murs) الصمت حيال قيم وسائط الكواكب، والاختلافات المركزية لأفلاك التدوير، وعظم هذه الأفلاك، ويركز دراسته على القيم المعطاة في الجداول الألفونسية لمتوسط حركة الشمس ولحركة أوج كل كوكب. وفي الواقع، فإن أكثر ما يميز الجداول الألفونسية عن الجداول السابقة هو معالجتها لحركة المبادرة. ويرأي جان دو مور نفسه، تمثل هذه الجداول محاولة توفيق بين النظرية البطلمية عن حركة المبادرة المنتظمة والنظرية العربية عن حركة الإقبال والإدبار. وتتألف حركة الأوج والنجوم، وفقاً للنظرية الألفونسية، من مركبتين هما: حركة منتظمة وفق توالي البروج وتساوي دورتها ٤٩٠٠٠ سنة (أي درجة واحدة في أكثر من ١٣٦ سنة بقليل)،

(٢٠) حول هذين المؤلفين، انظر: Pouille, *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatours et horlogerie planétaire du XIII<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle*, pp. 205 - 209 et 260 - 265.

(٢١) إن هذا المؤلف الهام قد نشره: Emmanuel Pouille, «Jean de Murs et les tables alphonssines», *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du moyen âge*, vol. 47 (1980), pp. 241 - 271.

انظر أيضاً: Emmanuel Pouille, «John of Murs», in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 7, pp. 128 - 133.

وحركة إقبال وإدبار بالنسبة إلى تقاطع منطقة البروج مع خط الاستواء، وتساوي دورتها ٧٠٠٠ سنة، مع فعالية قصوى بقيمة تسع درجات. فقد تم إذا الإبقاء على حركة الإقبال والإدبار، الواردة في *De motu*، بصفتها مركبة تعمل على تغيير سرعة حركة مبادرة الأوج والنجوم. وعلاوة على ذلك، أخذت حركة المبادرة هذه بعين الاعتبار منذ بداية العمليات الحسابية لمواقع الكواكب، وليس في نهايتها كما هو الحال في جداول طليطلة عندما يتعلق الأمر بنقل الأماكن التي تم تحديدها على كرة النجوم الثابتة إلى إحداثيات مدارية. وبشكل أهم، فقد تم تصميم الجداول الألفونسية لكي تحدد الأماكن الحقيقية للكواكب على الكرة التاسعة مباشرة، أي بإحداثيات مدارية.

وفيما يتعلق بمعادلات الكواكب<sup>(٢٢)</sup>، فإن تلك المعادلات الموجودة في جداول طليطلة لم تلتق سوى تعديلات طفيفة من قبل الفلكيين الألفونسيين، باستثناء الحالات المتعلقة بالشمس والزهرة والمشتري. إن التغيير في المعادلة القصوى للشمس (وبالتالي، في جدول المعادلة الخاص بها) ينتج عن تعديل ضمني، غير موضح في أي قانون، في الاختلاف المركزي للشمس الذي تتغير قيمته من 6؛ 2 جزء في جداول طليطلة (30؛ 2 جزء عند بطلميوس) إلى 15؛ 2 جزء عند الفلكيين الألفونسيين. وبما أن الاختلاف المركزي للزهرة (الاختلاف المركزي لدائرة بطلميوس الخاصة بالزهرة) كان يتم اعتباره بشكل تقليدي مساوياً لنصف الاختلاف المركزي للشمس، أي 8؛ 1 جزء عند الفلكيين الألفونسيين (بدلاً من 15؛ 1 جزء عند بطلميوس و3؛ 1 جزء في جداول طليطلة)، فقد تم تعديل المعادلة القصوى للزهرة والجدول المقابل للمعادلة بطريقة مماثلة. وأخيراً، بالنسبة إلى المشتري، فإن زيادة المعادلة القصوى، التي تتغير من 15؛ 5 جزء في جداول بطلميوس وطليطلة إلى 57؛ 5 جزء في الجداول الألفونسية، تعكس نمواً من 45؛ 2 جزء إلى 7؛ 3 جزء في الاختلاف المركزي للمشتري. بالمقابل، فيما يتعلق بشعاعات أفلاك التدوير، فإن الوسائط المشتقة (بواسطة حسابات عصرية) انطلاقاً من القيم المجدولة لمعادلة الحصة، تظهر أن الجداول الألفونسية مبنية على قيم مماثلة لتلك التي تشكل أساس جداول طليطلة وجدول بطلميوس.

وبالإجمال، أثبتت الفرضيات الجديدة على بنية النماذج البطلمية للكواكب دون تغيير، باستثناء ما يرتبط بالاختلافات المركزية للشمس والزهرة والمشتري. وما تغير بشكل أساسي هو، مرة أخرى، نظرية حركة الشمس، ونظرية حركة النجوم الثابتة المرتبطة بشكل وثيق بنظرية حركة الشمس. وقد لعبت أيضاً، في هذا المجال، المفاهيم الواردة في *De motu octavae sphaerae* دوراً أساسياً، فهي بالتأكيد لم تعد تستخدم لوصف حركة الانقلابين نفسها، بل لوصف تغيرات سرعة هذه الحركة.

(٢٢) إن المعلومات التي تلي مأخوذة من: Poulla, *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatortes et horlogerie planétaire du XIII<sup>e</sup> au XV<sup>e</sup> siècle*, pp. 26 - 27 et 767 - 769.

## الثورة الكوبرنيكية وعلم الفلك العربي

بعد أن أصبحت الجداول الفلكية مستوفاة بفضل الإصلاحات الألفونسية، وجه كبار الفلكيين من نهاية القرون الوسطى اهتمامهم إلى تحليل النماذج الحركية البطلمية. نذكر بشكل خاص عمل پورباش (Peurbach) وعنوانه *Theoricae novae planetarum*، وكتاب العمل الثاني، الذي يتضمن تحليلاً مفصلاً للغاية لمؤلف بطلميوس، وجد كوبرنيكوس مصدره الرئيس الذي يتعلق بالنتائج التي حصل عليها الفلكيون العرب، ويشكل خاص البتاني والزرقلاني. أما في العمل الأول، فقد استطاع معرفة بنية الكرات المجسمة، الموروثة عن كتاب بطلميوس في اقتصاص أصول حركات الكواكب المتحركة وعن كتاب ابن الهيثم هيئة العالم. كما استطاع أيضاً في هذا العمل قراءة وصف حركة الإقبال والإدبار وفقاً لـ *De motu octavae sphaerae*، وذلك في فصل يدور حول هذا الموضوع، كان پورباش قد أضافه لاحقاً إلى النسخة الأصلية. كما استطاع هناك أخيراً، أن يتعرف إلى تمثيل دائرة بطلميوس الخاصة بعطارد كشكل بيضاوي. وقد ورد أول ذكر لهذا الشكل في مؤلف للزرقلاني عن «الصفائح الجامعة» كان معروفاً في الغرب من خلال ترجمة إسبانية وردت في كتاب *Libros del Saber*، الذي تم وضعه تلبية لطلب ألفونس العاشر. وقد كان هذا المؤلف على الأرجح المصدر الأساسي الذي اعتمده پورباش<sup>(٣٣)</sup>.

إن قضية التأثير العربي على نصوص كوبرنيكوس<sup>(٣٤)</sup> تقود إلى مجموعتين من المسائل، تتعلق الأولى منهما بنظرية المبادرة ونظرية الشمس، أما الثانية فتتعلق بنظرية الكواكب. وكما رأينا سابقاً، فإن مسألة حركة الشمس والنجوم هي التي شكلت، على امتداد القرون الوسطى كلها، العقبة الرئيسة أمام الفلكيين اللاتينيين. لذلك لن نعترينا الدهشة إذا ما

---

(٣٣) حول مسائل الكرات المجسمة وحول تصوير دائرة بطلميوس الخاصة بعطارد عند پورباش (وحول مصادره العربية)، انظر: Willy Hartner, «The Mercury Horoscope of Marcantonio Michiel of Venice: A Study in the History of Renaissance Astrology and Astronomy», *Vistas in Astronomy*, vol. 1 (1955), pp. 84 - 138, reprinted in: Willy Hartner, *Oriens - Occidens, Collectanea*; 3 (Hildesheim: G. Olms, 1968), pp. 440 - 495.

(٣٤) توجد لمحة عامة حول التأثير الذي مارسه علم الفلك العربي على كوبرنيكوس، في: Noël M. Swerdlow and Otto Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 10, 2 vols. (New York: Springer - Verlag, 1984), pp. 41 - 48.

حول *Commentariolus* انظر أيضاً: Noël M. Swerdlow, «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary», *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 117, no. 6 (December 1973), passim.

علمنا أن أول ماثرة لكوبرنيكوس، حسب اعتقاد تلميذه رتيكوس (Rheticus)، تمثلت في حل هذه المسألة.

إن الجدل الطويل حول وسائط الشمس في القرون الوسطى (الاختلاف المركزي، وموقع الأوج، وميل فلك البروج)، وحول المبادرة أو ارتجاج الاعتدالين، يتخذ مظهراً جديداً في نظام كوبرنيكوس. وذلك منذ أن أخذت الأرض على عاتقها ليس الدوران اليومي فحسب، بل الدوران السنوي كذلك، بالإضافة إلى انزلاق الاعتدالين بالنسبة إلى النجوم الثابتة. وهذا الانزلاق باتجاه الغرب، هو الذي يتسبب بالفارق بين طول السنة النجمية وطول السنة المدنية، وهو يعود إلى حركة محاور الأرض. وبعد أن أخذ كوبرنيكوس بعين الاعتبار، في مؤلفه *Commentariolus*، في آن واحد أطوال السنة المدنية التي حددت عند بطليموس وعند البتاني وفي الجداول الأفقونية، والقيم المقابلة للمبادرة التي تقدمها المصادر نفسها، استنتج أن الحساب في جميع الحالات يحدد سنة نجمية ثابتة وقدرها 365 يوماً و  $6 \frac{1}{6}$  ساعة. ولكن النموذج المبكر في *Commentariolus* لتحليل هذه النتيجة، ونعني به الحركة باتجاه الغرب لمحور الأرض (التي تكمل دورانها المحوري في سنة مدارية، بينما يدور الفلك الكبير الذي يحمل الأرض باتجاه الشرق في سنة نجمية) لم يكن كافياً بعد لأن يتتج سوى حركة مبادرة منتظمة. فقد اعترف كوبرنيكوس نفسه بأنه، حتى ذلك التاريخ لم يكن قد اكتشف قانون حركة المبادرة. غير أن ذلك يعني، كما سبق، أن كرة النجوم ثابتة، وأن خطوط القبول للكواكب ثابتة بالنسبة إلى الكرة، وأن حركة محاور الأرض هي التي تزيح الاعتدال بالنسبة إلى فلك البروج. وهذا يعني أيضاً، عودة كوبرنيكوس إلى مفاهيم الفلكيين العرب التي تعتبر، ومنذ عصر ثابت بن قرة والبتاني، أن السنة النجمية ثابتة وأن دورات حركات الكواكب مثبتة بالنسبة إلى النجوم.

غير أن التماثل لا يتوقف عند هذا الحد. ففي الواقع، عندما يتم كوبرنيكوس في مؤلفه *De revolutionibus* بوصف تباينات حركات الأرض بشكل أكثر دقة، فإنه يجري إحصاء تاريخياً للتقديرات، التي حصل عليها من سبقه، والمتعلقة بميل فلك البروج، والاختلاف المركزي للشمس وموقع أوجها. وبالنسبة إلى مرحلة القرون الوسطى<sup>(٣٥)</sup>، فهو يلجأ إلى النتائج التي حصل عليها البتاني والزرقالي. وأمام تعدد القيم التي تم إحصاؤها، وجد كوبرنيكوس نفسه أمام مشكلة، هي بالضبط نفسها التي واجهت الفلكيين العرب في القرن التاسع للميلاد بعد قيامهم بتحديداتهم الجديدة لقيم الوسائط موضوع البحث. تلخص هذه المشكلة على الشكل التالي: هل تفسر الاختلافات في القيم التي تم الحصول عليها بأخطاء، أم بتغيرات طويلة الأمد في هذه القيم؟ ويكلام آخر، هل ينبغي استبعاد بعضها، أم يجب دمجها جميعها في قوانين الحركة التي يجري تحديدها؟ فيما يتعلق بهذه

(٣٥) يوجد ملخص جيد لهذا الإحصاء التاريخي وللخلاصات التي يستنتجها كوبرنيكوس، في:

Rhäticus, *Narratio prima*, pp. 94 - 98.

المسألة، فإن مثال *De motu octavae sphaerae* هو الذي ألهم كوبرنيكوس. وفي الواقع، وكما فعل كاتب هذا المؤلف، يعتبر كوبرنيكوس أن الأرصاد مجتمعة تعكس تغيرات دورية في الحركات موضوع البحث، وينتج نموذجاً، على غرار *De motu*، يجمع بين سنة نجمية منتظمة وارتجاج للاعتدالين. لكن هذا الارتجاج عند كوبرنيكوس ليس بسيطاً، بل مركباً، كما هو الحال في الجداول الألفونسية، من حد قرني ومن حد آخر دوري (يملكان على التوالي دورة قدرها 25816 سنة وأخرى قدرها 1717 سنة من 365 يوماً).

إن تغير درجة المبادرة لا يكفي مع ذلك، وفقاً لكوبرنيكوس، لشرح تغير طول السنة. في رأيه، ينبغي أيضاً إدخال متباينتين طويلتي الأمد تؤثران، بناءً على إحصائه، على حركة الشمس. وهاتان المتباينتان هما النقص في الاختلاف المركزي وحركة غير منتظمة لخط القبرين. وقد وجد الفلكيون اللاتينيون للمرة الأولى، عند الزرقالي بالذات، تأكيداً للحركة الذاتية (لكن غير المنتظمة) لأوج الشمس وتمييزاً واضحاً للسنة الخاصة التي كان يتم خلطها حتى ذلك الحين مع السنة المدارية (بطلميوس) أو مع السنة النجمية (ابن قرة والبتاني). ويستعير كوبرنيكوس<sup>(٣٦)</sup> من الزرقالي أيضاً، عن طريق المؤلف *Epitome* العائد لريجيومونتانوس، الآلية المعدة لكي تحل في آن معاً تغير الاختلاف المركزي (التي يفترض أن دورته مساوية لدورة تغير ميل فلك البروج) وتباين حركة خط القبرين. لذلك يكفي ببساطة أن نجعل مركز الفلك الأرضي (أي الشمس المتوسطة) يرسم دائرة صغيرة حول نقطة تبعد عن الشمس الحقيقية مسافة مساوية للاختلاف المركزي المتوسط، وذلك وفق دورة مطلوبة (بمقدار 3434 سنة من 365 يوماً).

وربما صدر عن الزرقالي أيضاً مبدأ نموذج كوبرنيكوس الذي يمثل التغيرين المتزامنين للمبادرة ولميل فلك البروج. فقد تسنى للزرقالي، في الواقع، أن يجعل هذين التغيرين مستقلين بعضهما عن بعض باستخدامه من جهة لفلك تدوير موضوع حول الاعتدال، وذلك بهدف تغيير المبادرة (وفقاً لطريقة *De motu*)، وباستخدامه من جهة أخرى لفلك تدوير قطبي (مركزه كان موضوعاً على دائرة بطلميوس متحدة المركز مع قطب فلك البروج) وذلك بهدف تغيير ميل فلك البروج<sup>(٣٧)</sup>. وقد تم فيما بعد تعميم طريقة أفلاك

(٣٦) حول النظرية الشمسية لابن الزرقالي، وانتقلها إلى الغرب اللاتيني، انظر:

G. J. Toomer, «The Solar Theory of al-Zarqālī: A History of Errors», *Centaurus*, vol. 14, no. 1 (1969), pp. 306 - 336.

Bernard Raphael Goldstein, «On the Theory of Trepidation According to Thābit b. Qurra and al-Zarqālī and Its Implications for Homocentric Planetary Theory», *Centaurus*, vol. 10 (1964), pp. 232 - 247, and Nūr al-Dīn Abū Ishāq al-Bīrūnī, *On the Principles of Astronomy*, an edition of the arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic - hebrew - english glossary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7, 2 vols. (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971).

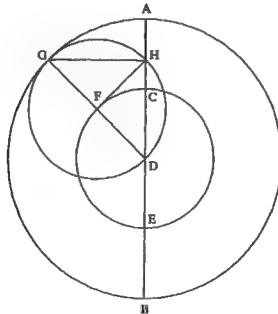
التدوير القطبية على يد البطروجي، الذي استخدمها في معالجة جميع حركات الكواكب، لكن هذه الطريقة تؤدي إلى نتيجة سيئة تتمثل في تعلق خط العرض بخط الطول (ويشكل أكثر دقة بحصة الكوكب). يأخذ كوبرنيكوس بدوره طريقة أفلاك التدوير القطبية كجزء من حل مركب، يمكن اعتماده نظراً لأن تغير المبادرة وتغير فلك البروج يمكن معالجتهما كتذبذبين متعامدين لمحور خط الاستواء السماوي. يتعلق الأمر عندئذ بإسناد دائرة قطبية صغيرة بقطر ملائم إلى كل واحد من هذين التغيرين، ويجعل محور الأرض يتحرك على قطري هاتين الدائرتين بحركتي تذبذب، ويضم مجموع هذين التذبذبين بحيث يمثلان في مستويين عموديين وفي الدورات المطلوبة. إن العملية التقنية، التي استخدمها كوبرنيكوس للحصول على كل واحد من هذين التذبذبين، قد عرضها نصير الدين الطوسي (١٢٠١ - ١٢٧٤م) في مؤلفه الكبير التذكرة في علم الهيئة، لذلك سماها البعثة الماصرون «مزدوجة الطوسي». وبذلك فإن هذه العملية، التي استخدمها الطوسي في نظرية الكواكب، تقودنا إلى المجموعة الثانية من المسائل المتعلقة بالتأثير العربي على علم الفلك الكوبرنيكي.

في هذه المجموعة من المسائل، لا يتعلق الأمر بالخاصة الكوكبية الثانية التي ترتبط بنظرية شمسية المركز التي تبررها، بل بالخاصة الأولى التي تم شرحها في النظرية البطلمية بواسطة حركة منتظمة لدائرة بطليموس مختلفة المركز حول نقطة لا تمثل مركزها الخاص، بل مركز اعتدال المسير. وقد لقيت مثل هذه الحركة نقداً حاداً، بصفتها مخالفة لمبادئ الفيزياء نفسها، من قبل ابن الهيثم، ثم من قبل فلكيين مرتبطين بمروصد مراغة (الذي شيده هولاء في العام ١٢٥٩م) مثل نصير الدين الطوسي ومؤيد الدين العرضي (المتوفى في العام ١٢٦٦م) وقطب الدين الشيرازي (١٢٣٦ - ١٣١١م)، وكذلك من قبل الفلكي الدمشقي ابن الشاطر (١٣٠٤ - ١٣٧٥م)<sup>(٣٨)</sup>. وقد استخدم هولاء الفلكيون، بهدف تجنب هذه الصعوبة، طريقة تتمثل في تحليل الحركة حول مركز اعتدال المسير إلى مركبتين أو أكثر، وتمثل هذه المركبات حركات دائرية وتضبط اتجاه ومسافة مركز فلك التدوير، بحيث يكون هذا المركز قريباً إلى أقصى حد ممكن من الموقع الذي يمكن أن يأخذه في نموذج بطليموس. وقد استخدم الفلكيون الشرقيون لهذه الغاية عمليتين تقنيتين، تتمثل الأولى في جمع أفلاك التدوير من أجل إحداث الأثر البطلمي لتنصيف الاختلاف المركزي، أما الثانية

(٣٨) من بين جميع هذه المصنفات حول هذا الجانب من علم الفلك العربي، لن نأخذ هنا سوى دراسات تتناول مباشرة مقارنة النماذج العربية مع نماذج كوبرنيكوس. انظر: Edward Stewart Kennedy: «Late Medieval Planetary Theory», *Isis*, vol. 57, no. 189 (Fall 1966), pp. 365 - 378, and Victor Roberts, «The Planetary Theory of Ibn al-Shāfir», *Isis*, vol. 50, no. 161 (September 1959), pp. 227 - 235, and Willy Hartner, «Trepidation and Planetary Theories: Common Features in Late Islamic and Early Renaissance Astronomy», *Accad. Naz. dei Lincei, Fondazione Alessandro Volta, Atti dei Congressi*, vol. 13 (1971), pp. 606 - 629.

فتمثل في «مزوجة الطوسي». يسمح هذا المخطط بالحصول على حركة مستقيمة انطلاقاً من حركات دائرية بالطريقة التالية (الشكل رقم (٥ - ٢)): إذا كانت دائرتان متساويتان تدوران حول محورين D و F، بحيث أن الدائرة التي مركزها F تدور باتجاه معاكس لدوران الدائرة التي مركزها D، وأسرع منها بمرتين، فإن النقطة H (حيث  $\angle GFH = -2\angle DCF$ ) من محيط الدائرة التي مركزها F ترسم بحركة تنذب (أو اهتزاز بتعبير كوبرنيكوس) قطر AB الدائرة الكبرى (التي مركزها D وشعاعها يساوي ضعف شعاع كل من الدائرتين الصغيرتين). إذا كان المخطط موجوداً في مستو، فإنه ينتج تنذباً مستقيماً للنقطة H. وإذا كان على كرة، فإن القطر AB، الذي ترسمه النقطة H، يكون قوساً من الدائرة الكبرى (شريطة أن يكون التنذب خفيفاً).

استخدم كوبرنيكوس هاتين العمليتين التقنيتين، «مزوجة الطوسي» وجمع أفلاك التدوير. والأولى، كما رأينا، تم استخدامها لكي تحل في آن معاً تباين المبادرة وتغير ميل فلك البروج. ولا يتصرف كوبرنيكوس بمخطط واحد فقط مأخوذ من الطوسي، بل باثنين، بحيث يكون القطران، اللذان يرسمهما التنذبان الناتجان، في مستويين متعامدين، وبحيث يتقاطعان في القطب الشمالي المتوسط لخط الاستواء (وبالطبع، يتم اختيار شعاعي الدائرتين وسرعتي الدوران بحيث تمثل الحركتان التنذبيتان السعة والدورية المطلوبة). ويستخدم كوبرنيكوس كذلك مخطط الطوسي، مثلما فعل مؤلف التذكرة نفسه، بهدف تحليل تنذبات للمستويات المدارية في نظرية خطوط العرض.



الشكل رقم (٥ - ٢)

دورة كوبرنيكوس.



وأكثر ما يثير الدهشة أيضاً، هو أن كوبرنيكوس وابن الشاطر (في مؤلفه نهاية السؤل في تصحيح الأصول) قد استخدما بشكل مائل العملية الثانية، أي جمع أفلاك التدوير بهدف تمثيل حركات الكواكب بخطوط الطول، مع تجنب الصعوبات المرتبطة بوجود اعتدال المسير البطلمي. وهكذا، فإن جميع نماذج الكواكب الواردة في *Commentariolus* هي مائلة، فيما يتعلق بالحاسة الأولى، لنماذج ابن الشاطر، التي يتم فيها استبدال الجمع بين دائرة بطليموس وبين فلكي التدوير بحركة دائرة بطليموس بالنسبة إلى مركز اعتدال المسير. والفاوق الوحيد بين هذين الكاتيين يكمن في قيم الوسائط، وبالطبع في واقع أن الأرض تمثل مركز نماذج الكواكب عند ابن الشاطر، في حين أن الشمس هي التي تلعب هذا الدور عند كوبرنيكوس. هناك تشابه آخر يقرب ما بين نماذج كوبرنيكوس وابن الشاطر، فالأثنان يضعان «مزدوجة الطوسي» في طرف شعاع دائرة بطليموس الخاصة بعطارد، بطريقة تسمح بتغيير مقدار شعاع فلك هذا الكوكب، ويتم ذلك بإلزام مركز فلك التدوير الأول بحركة تذبذب وفق خط موجه بشكل دائم نحو مركز دائرة بطليموس. هناك تماثل أخير، فتمودج القمر في *Commentariolus* وفي *De revolutionibus*، هو نفسه تمودج ابن الشاطر، باستثناء ما يتعلق بالوسائط.

نوحى هذه الأوجه العديدة من التشابه أن كوبرنيكوس قد تأثر بالفلكيين الشرقيين من القرنين الثالث عشر والرابع عشر للميلاد. صحيح أننا لا نعرف أية ترجمة لاتينية لأعمالهم، وحتى أي ذكر لهم في المصنفات اللاتينية العائدة إلى نهاية القرون الوسطى. لكن، يبدو أن انتقال بعض هذه النصوص العربية إلى الغرب اللاتيني قد تسنى بواسطة مصادر بيزنطية وصلت إلى إيطاليا في القرن الخامس عشر. وهكذا، تم العثور على التمودج القمري العائد للطوسي وعلى رسم يمثل «مزدوجة الطوسي» في مخطوطة (مخطوطة في الفاتيكان منذ العام ١٤٧٥م على أبعد تقدير) لترجمة يونانية، وضمها حوالى العام ١٣٠٠م شيونيداس (Chioniades) عن أصل عربي، كما أن هناك دليلاً آخر على استخدام «مزدوجة الطوسي» يتمثل في مؤلف جيوفاني باتيستا أميكو (Giovanni Battista Amico) وعنوانه *De motibus corporum coelestium iuxta principia peripatetica sine excentricis et epicyclis*. وقد ظهر هذا المؤلف في البندقية في العام ١٥٣٦م، وفيه يبدل الكاتب جهده من أجل إعادة الحياة إلى علم الفلك متحد المركز بمساعدة نماذج مبنية جميعها على استخدام هذه العملية<sup>(٣٩)</sup>.

(٣٩) هذان الاسنادان مستعاران من: Swerdlow and Neugebauer, *Mathematical Astronomy in*

*Copernicus's De Revolutionibus*, pp. 47 - 48.

حول أميكو، انظر: Noël M. Swerdlow, «Aristotelian Planetary Theory in the Renaissance:

Giovanni Battista Amico's Homocentric Spheres», *Journal for the History of Astronomy*, vol. 3 (1972), pp. 36 - 48.

## نهاية تأثير علم الفلك العربي في الغرب اللاتيني

حدد كوبرنيكوس نهاية المرحلة الطويلة من تأثير علم الفلك العربي في الغرب اللاتيني. وقد كان آخر من استخدم بشكل ثابت نتائج أرصاد تمت استعارتها من الكتاب العرب، وهي نتائج أفادته في إعداد تقديراته للتغيرات طويلة الأمد في الوسائط الشمسية. ولقد كان أيضاً آخر من حزم أمره لمصلحة الموضوع الناشئة عن *De motu octavae sphaerae*، التي تمثل في التعامل بجديّة مع مجموع أرصاد الماضي بهدف استخلاص قوانين الحركة، عوضاً عن الاستدلال من أرصاد حديثة بهدف نقض النظريات التي وجدت سابقاً. إذا أخذنا مرة أخرى تقسيم كبلر لعلم الفلك النظري إلى ثلاثة أجزاء، فإننا نتيّن أن الأرصاد، التي أجراها تيكو براهي بعد كوبرنيكوس بفترة قصيرة من الزمن، ستجعل بفضل دقتها وغزارتها كل إسناد إلى تاريخ الأرصاد القديمة غير مجدي. أما فيما يتعلق بالنماذج الهندسية البطلمية، وبأشكالها المختلفة العربية أو اللاتينية، فإن كبلر يضع نهاية لها. ولم تبق سوى متطلبات التحليل الفيزيائي للظواهر، التي كان ابن الهيثم قد بذل جهده لتليبيتها، كما فعل ذلك من بعده فلكيو القرن الثالث عشر والرابع عشر للميلاد. غير أن هذه المتطلبات، ويعد أن نقض تيكو براهي وجود الكرات المجسمة، لن ترتبط وفقاً لكبلر برؤية أرسطية للعالم، بل سترتبط على الأصح برؤية مستوحاة من تقليد رياضي أفلاطوني.

## الجغرافيا الرياضية

إدوار س. كينيدي (\*)

إن المؤرخ للعلوم الصحيحة في البلاد الإسلامية يجد نفسه غالباً في حالة من الارتباك بسبب غنى المصادر الموضوعة بين يديه، وذلك أن مئات من المصادر المخطوطة لم تلق حتى الآن أي نوع من الدراسة. وهذه هي الحال، كما يبدو، بالنسبة إلى الجغرافيا الوصفية. يجد القارئ توضيحات حول هذا الموضوع في دراسات س. مقبول أحمد<sup>(١)</sup>. غير أن المتخصص لفرع هذا العلم الذي تستخدم فيه الرياضيات، يشعر بالإحباط بسبب قلة المخطوطات التي تخص هذا الفرع. فنحن نعرف مثلاً، من مصدر موثوق<sup>(٢)</sup>، أن ابن يونس (حوالي سنة ١٠٠٠ ميلادية) قد أنجز خريطة للعالم للخليفة العزيز. ولكن ليس لدينا معلومات دقيقة عن طريقة الإسقاط، ومعلوماتنا عن الخريطة نفسها أقل من معلوماتنا عن الإسقاط.

ويمكن أن نعتبر أن المعلومات الموجودة تحت تصرفنا تخص علم مساحة الأرض والجغرافية. إن الدراسة التالية تنتظم حول هذين الموضوعين الرئيسيين. إن مسألة تحديد

---

(\*) أستاذ في الجامعة الأميركية في بيروت.

قام بترجمة هذا الفصل بدوي المسوط.

يقدم المؤلف شكره للأستاذ فوات سرجين (Fuat Sezgin) حل الضيافة التي لقيها في مؤسسة فرانكفورت للدراسات العربية الإسلامية. ويشكر كذلك وينهارد زير (Reinhard Zier) الذي لفت نظره إلى بعض الأخطاء والسهوات.

(١) انظر: «Djughrafiyâ» pp. 590 - 602, et «Kharîta» pp. 1109 - 1114, dans: *Encyclopédie de l'Islam*, 6 vols. parus, 2<sup>ème</sup> éd. (Leiden: E. J. Brill, 1960).

(٢) انظر: إبراهيم شوكت، «خرائط جغرافية العرب الأول»، مجلة الأستاذ (بغداد)، السنة ٢ (١٩٦٢)، ص ١٢.

خطوط العرض تؤدي، فيما يخص الموضوع الأول، إلى دراسة مساحة الأرض، ثم إلى حساب خطوط الطول. وهذا يوجب تحديد خط الزوال الأولي الذي تحسب الأطوال انطلاقاً منه. ويتهي هذا القسم الأول بإشارة إلى النتائج النهائية للعمليات السابقة، أي إلى جداول أسماء الأماكن مع إحداثياتها.

أما القسم الثاني من هذه الدراسة فهو مكرس للخرائطية. غير أن فقدان المعلومات الدقيقة، كما أشرنا أعلاه، يمنع بشكل حقيقي من تقييم درجة توغل الجغرافية الهلنستية في العالم الإسلامي. وسنرى فيما بعد أن البيروني والإدريسي يوجدان في وضعين متعاكسين: فالأول يعرض الإسقاطات بشكل مقبول، ولكن لا نجد أي تطبيق لها على خرائط حقيقية حتى عصر النهضة أو ما بعد عصر النهضة. أما الثاني فقد حفظت له نسخات عديدة من الخرائط، ولكن طرق الإسقاط التي اتبعتها تبقى حديثة إلى حد كبير، وسنعرض الخرائط المرسومة من قبل علماء آخرين، ولكننا لن نحاول تحليل الخرائط البحرية العربية.

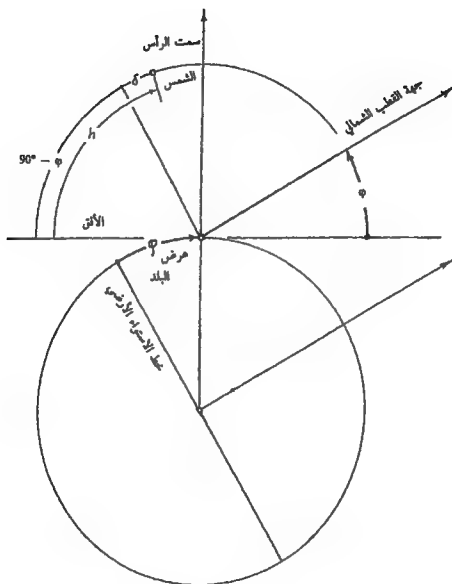
## أولاً: علم مساحة الأرض (الجيويدزية)

### ١ - تحديد خطوط العرض

يمكن أن نحدد بسهولة العرض  $\phi$  لمكان ما بواسطة طرق فلكية. وذلك لأن هذا العرض مساوٍ لارتفاع القطب السماوي في المكان (انظر الشكل رقم (٦ - ١)). ليكن  $h$  ارتفاع الشمس الزولي (أي ارتفاع الشمس عند مرورها فوق خط زوال مكان الراصد) في مكان الراصد في يوم معين. فإذا حسب الراصد ميل الشمس  $\delta$  في لحظة الرصد، نستنتج المعادلة التالية التي تتحقق في مناطق الكرة الشمالية:

$$\phi = 90^\circ - (h - \delta),$$

وذلك لأن ارتفاع نقطة الأوج في دائرة الاستواء السماوي مساوٍ لتمام ارتفاع القطب الشمالي. ويمكن أيضاً أن نرصد ليلاً الارتفاع الزولي لنجمة معينة. فإذا كنا نعرف مقدار ميلها، نطبق الصيغة السابقة لنحصل على ارتفاع المكان. يستطيع الراصد أن يحصل أيضاً على ارتفاع المكان إذا حدد ارتفاعي نجمة واقعة حول أحد القطبين عند مرورها في كل من النقطتين الواقعتين على زوال المكان. عندئذ يكون ارتفاع المكان مساوياً للوسط الحسابي للارتفاعين السابقين.



الشكل رقم (٦ - ١)

ارتفاع نقطة الأوج في دائرة الاستواء السماوي يساوي تمام ارتفاع القطب الشمالي (وارتفاع القطب الشمالي يساوي عرض البلد).

وقد أعطى البيروني (حوالي سنة ١٠١٠م)، في كتابه التمهيد<sup>(٣)</sup>، أمثلة مفصلة عن هذه الطرق مأخوذة من وثائق لأسلافه ولعاصريه.

قد يظن المرء، نظراً لسهولة تحديد خطوط الطول، أن القيم التي وصلتنا صحيحة بشكل كافٍ. ولكن من بين الأمثلة التي أعطى الكاشي إحدائياتها (حوالي سنة ١٤٠٠م)، وعددها ٥٠٦، هناك ٣٨١ مكاناً إحدائياتها مطابقة للإحدائيات الحديثة. إن معدل الفروق بين قيم الارتفاعات التي أعطاهما الكاشي والقيم الحديثة، يساوي أربع دقائق فقط من درجات الأقواس. إلا أن معدل القيم المطلقة لنفس مجموعة الفروق هو  $15' 1''$ . وهذا ما يفترض إلى الجودة. ولقد قمنا بحسابات إحصائية على خمسين مصدراً، فظهر أن النتائج التي أعطتها هذه المصادر معادلة من حيث الجودة لتلك التي وجدها الكاشي. ولكي نخفف من وطأة هذا النقد، يجب أن نذكر بأنه لم يكن باستطاعة المؤلفين التحقق بأنفسهم من قيم الارتفاعات، ما عدا عدداً قليلاً منها. وكانوا مضطرين إلى التسليم بالحسابات التي كانت تعطي لهم. بالإضافة إلى ذلك، هناك مدن عديدة لم تحظ على الأرجح بلكيين أكفاء. غير أن النتائج المسجلة تعطي كثيراً من الارتفاعات التي لا تتعدى الأخطاء في قيمها ربع الدرجة.

## ٢ - أبعاد الأرض

حان الوقت، بعد ما تقدم، للكلام عن أبعاد الأرض. وذلك لأن الطريقة الأكثر شيوعاً خلال القرون الوسطى، لتحديد طول درجة على خط الزوال الأرضي، تستند على تحديد خطوط الطول.

لقد نظم الخليفة المأمون (الذي حكم من سنة ٨١٣ إلى سنة ٨٣٣م) عدة حملات لتحقيق هذا الغرض. ولئن اختلفت المصادر حول التفاصيل، فإنها متفقة حول الطريقة المستخدمة<sup>(٤)</sup>. وتنص هذه الطريقة، في أول الأمر، على اختيار منطقة مسطحة في البادية السورية، ثم على رصد الزاوية  $\phi$  انطلاقاً من نقطة أولية معينة. يتوجه الراصدون بعد ذلك نحو الشمال أو نحو الجنوب، ويقيسون المسافة المقطوعة. ويتابعون هذه العملية إلى أن يصلوا إلى مكان تكون فيه قيمة  $\phi$  مساوية لقيمتها الأولية بعد زيادة أو إنقاص درجة واحدة من هذه الأخيرة. عندئذ تكون المسافة المقطوعة مساوية لطول درجة على خط الزوال.

---

(٣) انظر: Edward Stewart Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Tahdīd al-Amākīn*: An 11<sup>th</sup> Century Treatise on Mathematical Geography (Beirut: American University of Beirut, 1973), pp. 16-31.

(٤) انظر: S. H. Barani, «Muslim Researches in Geodesy», in: *Al-Bīrūnī Commemoration Volume* (Calcutta: Iran Society, 1951), pp. 1-52.

يبدو أنه كان من الأفضل، من الناحية التطبيقية، أن يتم اجتياز أية مسافة، على أن تكون أطول مسافة ممكنة، وأن تقسم قيمة هذه المسافة بالفرق  $\Delta\phi$  بين قيمتي  $\phi$ ، فيتم الحصول على طول درجة على خط الزوال. وذلك لأن الحصول على  $1^\circ = \Delta\phi$  يفترض التوقف عدة مرات متتالية للحصول على هذا الفرق الصحيح المطلوب. وربما كان الرصد يتبعون هذا النهج المعقول.

وهكذا تم الحصول على 56 فرسخاً وثلاثي الفرسخ للدرجة الواحدة. وقد استخدمت هذه القيمة، بشكل عام، من قبل الباحثين اللاحقين، كالبيروني<sup>(٥)</sup> والطوسي<sup>(٦)</sup> مثلاً. وقد ذكرت قيم أخرى في المصادر التاريخية ولكنها قريبة جداً من هذه القيمة الأصلية. وإذا ضربنا هذه القيمة بـ  $360/\pi$  نحصل على قيمة قطر الأرض.

وإذا تساءلنا عن دقة هذه القيمة، نصل إلى مسألة قياس صعبة الحل، وربما كانت غير قابلة للحل. وهي مسألة التحويل بين الوحدات في القرون الوسطى والوحدات الحديثة. وقد درست هذه المسألة درساً كاملاً من قبل نالينو<sup>(٧)</sup> الذي استنتج أن 56 فرسخاً وثلاثي الفرسخ تساوي 111.8 كلم للدرجة الواحدة، وهذه القيمة قريبة بشكل مدعش من القيمة الصحيحة وهي 111.3 كلم. إنها كذلك بفضل صدفة سعيدة على الأرجح، إذ إن نالينو قد أعطى قيمة أخرى لتسعة علماء آخرين تتراوح بين 104.7 و133.3. وهذا ما يظهر جودة القيمة المحددة في عهد المأمون.

### ٣ - خطوط الزوال الأساسية

يمكننا أن نقسم الجداول الجغرافية المعروضة أدناه إلى فئتين تبعاً لخط الزوال الصفري (الأولي) الذي تم الاستناد إليه في الجداول. كان بطليموس (حوالي ١٥٠ سنة قبل الميلاد)،

(٥) انظر مثلاً: Abu al-Rayhan Muhammad Ibn Ahmad al-Bīrūnī, *Tahdīd al-amākin*, édition critique par P. G. Bulgakov (Le Caire: Majallat al-Makhtūtāt al-'Arabiyya, 1962); english translation: *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities*, a translation from the arabic of al-Bīrūnī's *Kitāb Tahdīd al-amākin li-tashih masāfāt al-masākin* by Jamil Ali, Centennial Publications/American University of Beirut (Beirut: American University of Beirut, 1967).

(٦) انظر: Edward Stewart Kennedy, «Two Persian Astronomical Treatises by Naṣīr al-Dīn : al-Tūsī» *Centaurus*, vol. 27 (1948), p. 115.

(٧) انظر: Carlo Alfonso Nallino, «Il valore metrico del grado di meridiano secondo i geografi arabi», *Cosmos di Guido Cozzani*, vol. 11 (1892 - 1893), pp. 20 - 27, reprinted in: Carlo Alfonso Nallino, *Raccolta di scritti editi e inediti*, a cura di Maria Nallino, Pubblicazione dell' Istituto per l'Oriente, 6 vols. (Roma: Istituto per l'Oriente, 1939 - 1948), vol. 5.

أبو الجغرافيا الرياضية، يقيس الأطوال، باتجاه الشرق، انطلاقاً من «الجزر الخالدات»، أي جزر الكناري كما تسمى اليوم. ولقد تبعه بذلك نصف المصادر الإسلامية. وسنرمز فيما بعد إلى هذه المجموعة من المصادر، بالمجموعة C، طلباً للتسهيل. أما المجموعة الثانية من المصادر الإسلامية التي سنسميها المجموعة A، فقد تبعت الخوارزمي (حوال سنة ٨٢٠) باختياريه خط الزوال الصفري الذي يمر بـ «ساحل بحر المحيط الغربي». وذلك يعني، تبعاً لما ورد في المؤلفات، أن خط الزوال A يوجد على مسافة عشر درجات شرق خط الزوال C<sup>(٨)</sup>.

ونحن لا نعرف جيداً كيف ظهر هذا الأقسام. لقد بين نالينو<sup>(٩)</sup> أنه لم يكن في نية الخوارزمي أن يغير نقطة الزوال الصفري. ولكن لسبب ما، قرر علماء فلك المأمون أن العاصمة العباسية بغداد تقع على خط الطول المحدد بـ 70°. غير أنه ينبغي وضع بغداد على الخريطة، وفقاً لجغرافية بطليموس<sup>(١٠)</sup>، على خط يقرب طوله من 80°. وهذه القيمة الأخيرة هي المعطاة في أكثر من نصف المصادر الإسلامية. ويجب الربط، على الأرجح، بين هذه الواقعة والفكرة، التي سنعرضها لاحقاً، والتي تقول إن «قبة الأرض»، كما يتصورها الشرقيون، توجد على طول  $13\frac{1}{2}^{\circ}$  شرق «قبة الأرض»، كما تصورها بطليموس. وذلك أن  $13\frac{1}{2}^{\circ}$  ليست مختلفة كثيراً عن 10°. وقد أعطى البيروني بوضوح فرقاً مساوياً لعشر درجات<sup>(١١)</sup>.

لقد أصلح الخوارزمي بمقدار عشر درجات، القيمة المبالغ فيها التي أعطاها بطليموس لطول البحر الأبيض المتوسط. ولكن لا علاقة لهذه القضية بمسألة خط الزوال الأساسي.

وعلى كل حال، فإن وجود الفتيين A و C أمر واقم. وإن الفرق بين طولي نفس المدينة في جداول المجموعتين يقترب بالضبط من عشر درجات. بالإضافة إلى ذلك، لقد حسبنا

Al-Bīrūnī, *Tahdīd al-amākin*, p. 121.

(٨)

Carlo Alfonso Nallino, «Al-Khwārizmī e il suo rifacimento della Geografia di Tolomeo»,

*Mem. d. R. Accad. dei Lincei*, ser. 5, vol. 2, part 1,

Nallino, *Raccolta di scritti editi e inediti*, vol. 5, p. 490.

أعيد طبعه في:

Claudius Ptolemaeus, *L'Almageste*: édition du texte grec par J. L. Heiberg (Leipzig: (١٠)

Teubner, 1898 - 1903); traduction française par N. Halma (Paris: [s. n.], 1813 - 1816), réimprimé

(Paris: Hermann, 1927); traduction anglaise: Ptolemy, *Ptolemy's Almagest*, translated and

annotated by G. J. Toomer (New York: Springer - Verlag, 1984), et édition et traduction

allemande de deux versions arabes du catalogue d'étoiles: Claudius Ptolemaeus, *Der Sternkatalog*

*des Almagest, Die Arabisch - mittelalterliche Tradition, I, Die Arabischen Übersetzungen*, édition

et traduction de Paul Kunitzsch (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1986).

Al-Bīrūnī, *Tahdīd al-amākin*, pp. 120 - 121.

(١١) انظر:



الفرق المتوسط بين الأطوال في القرون الوسطى والأطوال الحديثة للأمكنة التي نعرف أطوالها الحديثة (حسب خط غرينتش)، فوجدنا أن التباعد ضخم بين القيم الوسطى الخاصة بكل مصدر مأخوذ على حدة. ولكن القيم الوسطى في المجموعة A تتجمع حول 24°، أما في المجموعة C فهي قرية من 34°<sup>(١٢)</sup>.

وهناك مصدر ثالث يعطي الأطوال مقاسة انطلاقاً من خط زوال أساسي ثالث. فقد أثبت الحمداي (المتوفى سنة ٩٤٦م)<sup>(١٣)</sup> أن «أهل المشرق»، الهنود والذين جروا على تقليدهم، كانوا يقيسون الأطوال باتجاه الغرب انطلاقاً من الساحل الشرقي للصين. وكان من المسلم به عامة أن القسم المسكون من الأرض هو سطح نصف الكرة المحدد بدائرة كبرى تمر بالقطبين. أما المركز الجغرافي لهذا القسم المسكون والسمي «قبة الأرض»، فهو نقطة موجودة على خط الاستواء. وهذه النقطة هي قطب الدائرة الحدية لنصف الكرة المسكونة. ويقول الحمداي إن أهل المشرق يضعون موقع «قبة الأرض» على 90° غرب خط الزوال الأساسي. والمفروض، بلا شك، أن هذه القبة موجودة، كما يشير إلى ذلك كتاب السنهنت (أو السلهنتا حسب اللغة السنسكريتية)، على خط الزوال الذي يمر بمدينة أزين (Uzain) التي لعبت دور «غرينتش» بالنسبة إلى علم الفلك عند الهنود الأقدمين. ولكن هذا الاسم قد حُرف في المصادر العربية، إذ أهملت النقطة على الحرف ز، فأصبح «أزين». وهكذا وردت تلك القبة تحت اسم «قبة أزين». وقد قرر الحمداي أن قبة بطليموس تقع، باحتمال كبير، على 90° شرق خط زوال بطليموس الأساسي. وبذلك لا تتطابق القبتان، بل إن القبة الهندية تقع على 13° ونصف الدرجة شرق قبة بطليموس. لنرمز إلى الأطوال المقاسة باتجاه المشرق بـ  $\lambda_E$ ، وإلى تلك المقاسة باتجاه الغرب بـ  $\lambda_W$ . عندئذ تكون معنا

$$\lambda_E + \lambda_W = 90^\circ + 13 \frac{1^\circ}{2} + 90^\circ = 193 \frac{1^\circ}{2}$$

أعطى الحمداي الإحداثيات الهندية لاثنتين وعشرين مدينة، منها القدس ودمشق، ويقع أغلبها في شبه الجزيرة العربية. لقد وردت في هذه المجموعة أسماء ثلاث مدن لم ترد في الجداول الأخرى، لأسماء الأمكنة وإحداثياتها، التي ألفها المسلمون. ولكن أطوال تسع مدن من بين المدن التسع عشرة الباقية تحقق العلاقة السابقة أعلاه باختلاف لا يزيد عن الدرجة الواحدة، وذلك في أكبر عدد من مصادر المجموعة C (أي مجموعة بطليموس).

(١٢) انظر: Edward Stewart Kennedy and M. H. Regier, «Prime Meridians in Medieval

Islamic Astronomy», *Vistas in Astronomy*, vol. 28 (1985), pp. 29 - 32.

(١٣) انظر: D. H. Müller, *Al-Hamdānī's Geographie der Arabischen Halbinsel* (Leiden:

[n. pb.], 1884), pp. 27 and 45.

وقد تكلم هونيجمان (Honigmann)<sup>(١٤)</sup> عن «نظام فارسي» تقاس فيه الأطوال باتجاه الغرب انطلاقاً من خط زوال أولي يمر بشرق آسيا الأقصى. وهو يشير بذلك، دون شك، إلى «خط زوال الشرقيين» الذي ذكره الحمداي. وذلك أن الحمداي ينسب بعض الإحداثيات إلى الفزاري (حوالي سنة ٧٦٠م) وبعضها الآخر إلى حبش الحاسب (حوالي سنة ٨٥٠م). وقد تأثر هذان الرجلان بعلم فلك إيران الساسانية، بنفس قدر تأثرهما بعلم فلك الهند.

أما البيروني<sup>(١٥)</sup>، فقد قرئ أن خط الزوال الأساسي هو ذلك الذي يمر في القبة نفسها، وذلك في مجموعة صغرية من الجداول أصبحت مفقودة.

ويوجد مصدر، ضمن (MS Utr. Or. 23 de Leyde)، يتفرد بقياس الأطوال انطلاقاً من مدينة البصرة التي هي دون شك مدينة المؤلف المجهول. ولكن هذا الأخير كتب في رأس العمود المخصص للأطوال، عبارة «الاختلاف في الأطوال»، بدلاً من «الأطوال» كما هي العادة. وهذا ما يدل على أنه لم يعتبر خط زوال البصرة كخط أساسي للزوال.

#### ٤ - تحديد الأطوال

إن تحديد طول مكان معين، بعد أن يتم اختيار خط الزوال الأساسي، يؤول إلى تحديد الفرق بين طول هذا المكان وطول معروف لكان آخر. إن تحديد الطول أسهل نظرياً من تحديد العرض. وذلك بفضل دوران الأرض التي تدور بزاوية قدرها  $360^\circ$  في مدة ٢٤ ساعة. وهذا ما يجعل للفرق في الطول لكانتين معينتين متناسباً مع الفرق بين الوقتين المحليين المتوسطين للمكانين.

ولكننا بحاجة، من الناحية العملية، إلى إشارة زمنية صالحة في المكانين في آن واحد. وهذه القضية لم تكن سهلة الحل، من دون الراديو، في القرون الوسطى.

يمكن لكسوف القمر أن يعطي مثل هذه الإشارة، لأن أوجه القمر تظهر متشابهة في كل نقطة من الأرض يرى منها القمر. لنفرض وجود راصدين في مكانين تمكن منهما رؤية القمر. يمكن لكل منهما أن يحدد الأوقات المحلية لبداية الكسوف ونهايته وللتغطية القصوى أو الكاملة للقمر. ولقد تحدث البيروني<sup>(١٦)</sup> عن مثيلة لهذه العملية المزدوجة للرصد، جرت بينه وبين أبي الوفاء البوزجاني الذي كان موجوداً في بغداد، في حين كان

(١٤) انظر: Ernat Honigmann, *Die sieben Klimata* (Heidelberg: C. Winter's Universitäts-Verlag, 1929), pp. 132 - 155.

(١٥) انظر: Kennedy, *A Commentary upon Birānī's Kitāb Tahdīd al-Amākin: An 11th Century Treatise on Mathematical Geography*, p. 126.

(١٦) المصدر نفسه، ص ١٦٤.

هو في كاث (Kāth) (في آسيا الوسطى). غير أن هناك صعوبة ناتجة عن عدم إمكانية التمييز بوضوح بين أوجه القمر في حالة الكسوف، خلافاً لما يحدث في حالة كسوف الشمس.

وقد استفاد البيروني أيضاً إلى حد بعيد، في كتابه التحديد<sup>(١٧)</sup>، من طريقة جيوديزية لحساب الفروق في الأطوال. لنفرض أننا نعرف عرض كل من مكانين ونعرف المسافة الفاصلة بينهما على الدائرة الكبيرة. يمر في كل من النقطتين خط طول وخط عرض. تتقاطع هذه الدوائر الأربعة في أربع نقاط تشكل مربعاً منحرفاً متساوي الساقين. يطبق البيروني على المربع المنحرف مبرهنة لبطليموس تخص المربعات المنحرفة القابلة الارتسام على دائرة. فيستخلص العبارة التالية للدهشة<sup>(١٨)</sup>:

$$\Delta\lambda = \arccos \frac{\text{crd}^2 AB - \text{crd}^2 \Delta\phi}{\cos \phi A \cdot \cos \phi B}$$

حيث تدل  $\Delta$  على الفرق، وتدل  $\lambda$  على الطول الأرضي. أما  $\text{crd } \theta$  فتمثل طول وتر على الدائرة الواحدة، مقابل للزاوية المركزية  $\theta$ ، بينما تدلّ النقطتان A و B على المكانين المقصودين بالدراسة.

لقد حصل البيروني على قيم تقريبية للمسافات على الدائرة الكبيرة بعد ضرب كل طول من أطوال طرق القوافل المقدرة بالفراسخ، بمعامل مناسب ترتبط قيمته بدرجة صعوبة الطريق وبدرجة تعرجها. بعد ذلك حسب البيروني النتيجة بالأميال والدرجات. أما قيمة الفرق في الطول  $\Delta\lambda$  بين بغداد وغزنة (الواقعة في أفغانستان الحالية)، عاصمة أستاذه، فقد حصل البيروني عليها بتطبيق صيغته المذكورة أعلاه عدة مرات. وذلك بين محطات الترحيل المارة بري وجورجانيا وبلغخ. وبما أنه شك، بحق، بالنتيجة الحاصلة، فقد أجرى حسابات إضافية على طريق عمر، جنوب الطريق الأولى، بشيراز وزرنج. ثم أعاد الحسابات على طريق أخرى تمر ببوست. بعد ذلك أخذ المعدل الحسابي للنتائج الثلاث الحاصلة. إن الخطأ في النتيجة النهائية، ومقدارها 24 درجة، يساوي حولي ثلث الدرجة. لذلك فهي نتيجة جيدة إذا أخذنا بعين الاعتبار القيم التقريبية للمعطيات الأولية.

نحن لا نعلم بوجود عالم جغرافي تبني هذه الطريقة التي ابتكرها البيروني. لقد عرض الكاشي<sup>(١٩)</sup> طريقة جيوديزية بعيدة كل البعد عن الدقة. إن قيم الأطوال التي وردت في النصوص، هي بشكل إجمالي أقل دقة بكثير من قيم العروض.

Al-Bīrūnī, *Tahdīd al-amākin*.

Kennedy, *Ibid.*, p. 152.

Edward Stewart Kennedy, «Spherical Astronomy in Kāshī's Khāqānī Zīj», انظر: (١٩)

*Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 2 (1985), pp. 1 - 46.

## ٥ - الجداول الجغرافية

تظهر مجموعة الجداول بأسماء الأمكنة وأطوالها وعروضها، أهمية وغزارة المعارف الجغرافية التي كانت متداولة في العالم الإسلامي خلال القرون الوسطى. ويمكن قسمة المصادر الخاصة بها إلى ثلاث فئات:

أ - الأزياج، وهي موجزات فلكية مخطوطة، أكثرها غير منشور، تحوي جداول جغرافية. وتسمح هذه الأخيرة لمن يستخدمها بجعل الأرصاد المنجزة في مكان ما، متلائمة مع الأرصاد المنجزة في أي مكان آخر وارد في الجدول.

ب - مجموعات المعلومات اللازمة لوضع الخرائط.

ج - أعمال جغرافية أكثر شمولية تتضمن إحدائيات الأماكن.

وقد تم حتى اليوم تسجيل معطيات أربعة وسبعين مصدراً على الآلات الحاسبة الإلكترونية. ويمكن لهذا العدد أن يزيد. وتختلف هذه المصادر في أحجامها، إذ يتراوح عدد الأمكنة المذكورة فيها من اثنين فقط إلى أكثر من مئتين مكان. وأغلب المدن التي تتضمنها هذه الجداول يقع في حوض البحر الأبيض المتوسط والشرق الأدنى وآسيا الوسطى. ويقع بعضها في أماكن متناثرة من أوروبا، وفي شمال إسبانيا وفي الهند والصين. ولقد نشرت هذه المجموعة سنة ١٩٨٧<sup>(٢٠)</sup>.

ويمكن إثبات ترابط بعض مجموعات من هذه المصادر فيما بينها. ولكن لا نجد فيها مصدرين متطابقين. ومن ناحية أخرى، لا يوجد مصدر مستقل تماماً عن المصادر الأخرى.

## ثانياً: الخرائطية

### ١ - الإرث الهلينيستي

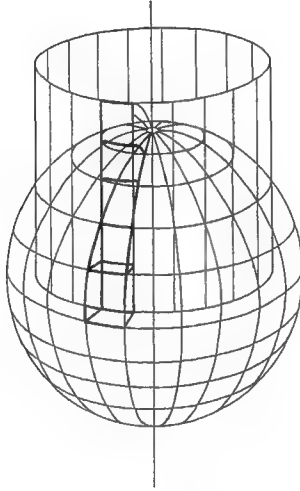
إن أول واضح خرائط أثر على العالم الإسلامي هو مارينوس الصوري (Marinus de Tyr) (حوالي ١٠٠ سنة بعد الميلاد). يتكون نظام الإحداثيات في خريطة مارينوس للعالم من جماعتين من المخطوطات المتوازية المتعامدة فيما بينها. وبما أن الكرة لا تتطابق مع مستوي، فكل خريطة لقسم من الأرض تتضمن إلتواءات. ولواضع الخرائط الخيار بين تمثيل مطابق (يحتفظ بالزوايا كما هي في الأصل) وبين تمثيل يحتفظ بالمساحات، أو بين تمثيل يحتفظ ببعض المسافات. ولكنه لا يستطيع الاحتفاظ بكل الوسائط. وقد احتفظ مارينوس في

---

(٢٠) انظر: Edward Stewart Kennedy and M. H. Kennedy, *Geographical Coordinates of*

*Localities from Islamic Sources* (Frankfurt, A.M.: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften, 1987).

خريطته بالمسافات على طول كل خط من خطوط الزوال وعلى طول خط العرض المار برودس ( $\varphi = 36^\circ$ )<sup>(٢١)</sup>. وبما أن أطوال خطوط العرض تتناقص عندما تتزايد  $\varphi$ ، فإن المسافات على خطوط العرض، في خريطة مارينوس، تعتمد شمال رودس وتقلص جنوبها.



الشكل رقم (٦ - ٢)

نظام الاحداثيات في خريطة مارينوس.

أما بطليموس فقد استخدم نوعين من الخرائط تتقارب فيها خطوط الزوال، بخلاف خطوط مارينوس للزوال التي هي متوازية ورسومة على شكل أسطواني:

(٢١) انظر: Otto Neugebauer, «Mathematical Methods in Ancient Astronomy», *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 54 (1948), pp. 1037 - 1039.

يُحفظ، في النوع الأول لخرائط بطليموس، بالمسافات على طول كل خط من خطوط الزوال. وهذا ما يعطي جماعة من الخطوط المستقيمة المتقاطعة. أما خطوط العرض فهي دوائر متحدة المراكز متعامدة على خطوط الطول التي تمر بالتالي بالمركز المشترك. ويتم اختيار النقطة الأخيرة بحيث: (١) تحفظ المسافات على طول خط العرض المار بـ *Thulé* ( $\varphi = 63^\circ$ )، وعلى (٢) تحفظ نسبة المسافات على طول خط العرض المار بتولة ( $\varphi = 63^\circ$ )، وعلى طول خط الاستواء ( $\varphi = 0^\circ$ ).

يتخذ بطليموس، في النوع الثاني لخرائطه، الدوائر المتحدة المراكز كخطوط للعرض، ويختار من بينها الدوائر الثلاث ذات العروض بالدرجات:  $63^\circ$  و  $50^\circ 23'$  و  $16^\circ 25' -$ ، لتحفظ عليها المسافات. نتيجة لذلك لا يمكن لخطوط الطول أن تبقى خطوطاً مستقيمة، بل تصبح جماعة من الدوائر. وتحدد كل دائرة من هذه الدوائر بثلاث نقط يكون لها نفس الطول، وتقع على دوائر العرض الثلاث المذكورة أعلاه. وهكذا يحدث إفساد بسيط لحفظ المسافات على طول خطوط الزوال.

نلاحظ تطوراً تدريجياً في هذه الأنواع الثلاثة. ففي النوع الأول تكون جماعتا خطوط الإحداثيات مستقيمة ومتعامدة. أما في النوع الثاني، فإن إحدى جماعتي خطوط الإحداثيات دائرية. بينما تكون الجماعتان دائريتين، في النوع الثالث.

إن وجود خريطة العالم لبطليموس، بشكل أو بآخر، تحت تصرف الجغرافيين في الإمبراطورية العباسية، شبه أكيد، فالمسعودي<sup>(٢٢)</sup> يدعي أنه شاهد عدة نسخات منها، وأن خريطة المأمون (الصورة المأمونية) قد فاقت بامتياز هذه النسخات. غير أننا لا نعرف بوجود نسخة غير مفقودة لخريطة العالم لبطليموس مؤرخة في عهد العباسيين. وأقدم نسخات كتاب الجغرافيا الموجودة اليوم، قد وضعت في القسطنطينية خلال القرنين الثالث عشر والرابع عشر للميلاد. وقد أنجزت ترجمات عربية لها بأمر من السلطان محمد الثاني. توجد إحدى هذه الترجمات ضمن مخطوطة «آيا صوفيا» (*Aya Sofia*) ذات الرقم ٢٦١٠ في إسطنبول. وقد أخذت من خريطة العالم الموجودة فيها صورة طبق الأصل<sup>(٢٣)</sup>. أما

(٢٢) Al-Mas'ūdī: *Murūj al-Dhahab (Les Prairies d'or)*, édité et traduit par C. Barbier : نظر : (٢٢) de Meynard et Pavet de Courteille, collection d'ouvrages orientaux publiée par la société asiatique, 9 vols. (Paris: Imprimerie impériale, 1861 - 1917; 1861 - 1930), vol. 1, p. 183, et *Kitāb al-ta'bīh wa'l-tahrīf*, éditée M. J. de Goeje (Lugduni - Batavorum: E. J. Brill, 1894), réimprimé (Beyrouth: Khayāt, 1965); traduction française: *Le Livre de l'avertissement et de la révision*, traduit par Carra de Vaux (Paris: Imprimerie nationale, 1896), p. 33.

(٢٣) انظر : Josef Fischer, *Claudii Ptolemai Geographiae Codex Urbibus Græcis* 82, 3 vols. (Leiden: E. J. Brill, 1932), et «Kharīṭa» dans: *Encyclopédie de l'Islam*.

للمخطوطة الكاملة فقد نشرت منها صورة طبق الأصل (القاهرة؟) سنة ١٩٢٩<sup>(٢٤)</sup>. غير أن الكتاب لا يحوي أية إشارة تدل على مصدره أو على تاريخ نشره.

كل هذا متأخر جداً عن عهد العباسيين. وما زالت مسألة ما أمكن وصوله من إرث بطليموس الجغرافي إلى العباسيين موضوع نقاش. غير أن مزيك (Mzik)<sup>(٢٥)</sup> يعتقد أن الجغرافيين في العهد العباسي قد استخدموا، على الأرجح، نسخة سريانية من الجغرافيا. وربما لم تحو هذه النسخة أية خريطة للعالم. ويظن روسكا (Ruska)<sup>(٢٦)</sup>، من ناحية أخرى، أنهم قد تمكنوا من العمل مباشرة انطلاقاً من النسخة اليونانية.

## ٢ - خريطة المأمون

لقد استقدم الخليفة المأمون خلال فترة حكمه (٨١٣ - ٨٣٣م) علماء بارزين إلى بيت الحكمة، وهذا ما هو معروف جيداً. إن إحدى ثمرات التعاون بين هؤلاء العلماء هي تمثيل العالم المعروف في ذلك الزمن، وبعد هذا التمثيل تحسناً من عدة وجوه لذلك الذي قدمه بطليموس<sup>(٢٧)</sup>. غير أن كل ما وصلنا يقتصر على خريطة جغرافية للخوارزمي<sup>(٢٨)</sup> وعلى ثلاث خرائط إقليمية. ولم يعثر على أية نسخة من الخريطة الرئيسية. ويؤكد المسعودي<sup>(٢٩)</sup> أن الحدود بين المراكز مستقيمة في تلك الخريطة. وبما أن هذه الحدود خطوط عرض، يمكن التكهّن بأن الإسقاط المستخدم كان من النوع الذي اتخذه مارينوس.

ويصبح هذا الحدس شبه مؤكد إذا أخذنا بعين الاعتبار جدول شهراب (حوالي سنة ٩٣٠م) الجغرافي الذي يشبه كثيراً جدول الخوارزمي. يعطي شهراب<sup>(٣٠)</sup>، في مقدمة

---

(٢٤) انظر: Leo Bagrow, «A Tale from the Bosphorus: Some Impressions from My Work at the Topkapu Saray Library, Summer 1954», *Imago Mundi*, vol. 12 (1955), p. 27, note at the bottom of the page.

(٢٥) انظر: Hans von Mzik, «Ptolemaeus und die Karten der Arabischen Geographen», *Mitt. d. K. K. geog. Ges. Wien*, Bd. 58 (1915), pp. 152 - 175.

(٢٦) انظر: Julius Ruska, «Neue Bausteine zur Geschichte der Arabischen Geographie», *Geographische Zeitschrift*, Bd. 24 (1918), pp. 77 - 78.

Nallino, *Raccolta di scritti editi e inediti*, vol. 5.

(٢٧) انظر:

(٢٨) انظر: Muḥammad Ibn Mūsā al-Khwarizmī, *Das Kitāb Sūrat al-Ard des Abū Ga'far* / *Muḥammad Ibn Mūsā al-Huwarizmi*, ed. Hans von Mzik, *Bibliothek Arabischer Historiker und Geographen*; 3 Bd. (Leipzig: Otto Harrassowitz, 1926).

Al-Mas'ūdī, *Kitāb al-tamīh wa'l-ihrāf*, p. 44.

(٢٩) انظر:

(٣٠) انظر: Suhrahb, *Das Kitāb 'agā'ib al-akālīm as-sab'a des Suhrahb*, herausgegeben nach dem handschriftlichen Unikum des Britischen Museums in London/ cod. 23379 add., von Hans v. Mzik, *Bibliothek Arabischer Historiker und Geographen*, Bd. 5 (Leipzig: Otto Harrassowitz, 1930).

كتابه، توجيهات مهمة لطريقة رسم شبكة الإحداثيات التي يجب وضع الأماكن عليها. فيجب أن تتضمن هذه الشبكة جماعتين من الخطوط المتوازية المتعامدة فيما بينها والمشكلة لمربعات. فتحتفظ المسافات على طول خط الاستواء وعلى طول كل خط من خطوط الزوال. وهذا ما يسبب تمدد المسافات باتجاه مواز خط الاستواء في المنطقة المعتدلة. لذلك تكون هذه الخريطة أقل جودة من خريطة مايرتوس.

### ٣ - أطلس الإسلام

قامت مجموعة من الجغرافيين في القرن العاشر بكتابة مؤلفات لها سمات مشتركة كثيرة فسميت أطلس الإسلام<sup>(٣١)</sup>. نذكر من هؤلاء الكتاب البلخي والاصطخري والمقدسي. وقد تضمن كل كتاب من هذه الكتب مجموعة نموذجية من عشرين خريطة. والخريطة الأولى في هذه المجموعة هي خريطة العالم. ولكن هذه الخرائط مبسطة إلى درجة كبيرة حتى أنها أصبحت، على حد تعبير كرايمرز (Kramers)، خرائط كاريكاتيرية.

### ٤ - مساهمة البيروني

لقد ألف البيروني، الذي كان رياضياً كبيراً وعلامة في آسيا الوسطى، كتاباً صغيراً في علم خرائط الكرة الأرضية، وذلك في أوائل حياته العلمية (حوالي سنة ١٠٠٥م)<sup>(٣٢)</sup>. وقد ظهرت ترجمة حديثة لهذا الكتاب<sup>(٣٣)</sup> تتضمن شرحاً وفهرسة للأعمال والنشر السابقة، إضافة إلى نسخة طبق الأصل عن مخطوطة ليدن (Leyde). وقد عرض البيروني في هذا الكتاب ثماني طرق للإسقاطات الخرائطية. سنعرض أدناه ثلاث طرق منها. يبدو أنه قد ابتكر الطريقتين الأولى والثالثة. أما الطريقة الثانية فقد تكون سابقة له. وسنسمي هذه الطرق بالأسماء الحديثة التي أطلقت عليها.

### أ - طريقة «التساوي المزدوج للأبعاد»

تنص هذه الطريقة في أول الأمر على اختيار نقطتين ثابتتين A و B على الكرة. ونرسم بعد ذلك، في وسط الورقة التي نريد أن نخرج الخريطة عليها، الخط المستقيم A' B' بحيث

(٣١) انظر: J. H. Kramers, «La Question Balhi - Istahri- Ibn Hawqal et l'Atlas de l'Islam», *Acta Orientalia*, vol. 10 (1932), pp. 9 - 30.

(٣٢) انظر: Lutz Richter - Bernburg, «Al-Birūnī's *Maqāla fī taṣṭīḥ al-qunwar wa tabayyih*», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6 (1982), pp. 113 - 122.

(٣٣) انظر: J. L. Berggren, «Al-Birūnī on Plane Maps of the Sphere», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6, nos. 1 - 2 (1982), pp. 47 - 96.



يكون طوله مساوياً لطول قوس الدائرة الكبرى AB على الكرة، وذلك وفقاً لاسم مناسب. عندئذ، إذا أخذنا نقطة اختيارية P على الكرة، نختار النقطة P' المقابلة لها على الخريطة بحيث:

- يكون طول الخط  $A'P'$  مساوياً لطول قوس الدائرة الكبرى AP؛

- يكون طول الخط  $B'P'$  مساوياً لطول قوس الدائرة الكبرى BP. بالإضافة إلى ذلك، توضع النقطة P' بحيث يكون اتجاه المثلث  $A'B'P'$  مطابقاً لاتجاه المثلث ABC. لقد عرضت هذه الطريقة في العصر الحديث، ولكننا لا نعرف لها تطبيقاً حديثاً ولا حتى في القرون الوسطى<sup>(٣٤)</sup>.

### ب - طريقة «التساوي في البعد السمتي»

إن هذه الطريقة سهلة الوصف بالطريقة السابقة. لنأخذ نقطة معينة A على الكرة واتجاهاً صفرياً انطلاقاً من هذه النقطة. لنأخذ عندئذ النقطة A'، في وسط الخريطة، كصورة للنقطة A. ولنحدد الاتجاهات على الخريطة بواسطة محاور يمر بالنقطة A'. إذا كانت P نقطة اختيارية على الكرة، تكون صورتها P' على طرف الخط المقطوع  $A'P'$  الذي يساوي طوله طول قوس الدائرة الكبرى AP. وتكون زاوية السمت لـ  $A'P'$ ، بالنسبة إلى المحور المعطى، مساوية لزاوية السمت لـ AP على الكرة. ولقد وصف البيروني هذه العملية مستخدماً اصطلاحات ميكانيكية كما يلي. إذا جعلنا الكرة تتدحرج دون انزلاق فوق الخارطة انطلاقاً من نقطة المماس A'، وفي اتجاه P إلى أن تصبح P نقطة المماس، نحصل عندئذ على النقطة P'.

لقد استخدم علي بن أحمد الشرفي، في صفاقس سنة ١٥٧١م، هذه الطريقة ليرسم، بشكل بسيط وحديسي دون شك، خريطة العالم<sup>(٣٥)</sup>. وكان دون شك على غير علم بكتاب البيروني، كما كان كذلك بومستل (Postel) الذي طبق هذه الطريقة في أوروبا سنة ١٥٨١م<sup>(٣٦)</sup>.

(٣٤) انظر: Charles Henry Doetz and Oscar S. Adams, *Elements of Map Projection with Applications to Map and Chart Construction*, U. S. Coast and Geodetic Survey, Special Publication no. 68, 5<sup>th</sup> ed. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1945), reprinted (New York: Greenwood, 1969), p. 176.

(٣٥) انظر: William C. Brice, ed., *An Historical Atlas of Islam* (Leiden: E. J. Brill, 1981), p. vi, and Carlo Alfonso Nallino, «Un mappamondo arabo disegnato nel 1579 da 'Alī Ibn Aḥmad al-Sharāfi di Sfax», *Bollettino della Reale Società Geografica Italiana*, vol. 5, no. 5 (1916), pp. 721 - 736, réimprimé dans: Nallino, *Raccolta di scritti editi e inediti*, vol. 5, pp. 533 - 548.

Doetz and Adams, *Ibid.*, p. 175.

(٣٦) انظر:

إن طريقة التساوي في البعد السمتي مستخدمة بشكل عادي في هذه الأيام.

### ج - طريقة «النظام الكروي»

يتم في هذه الطريقة إسقاط نصف الكرة على سطح دائرة. لتأخذ قطرين EW وNS متقاطعين في النقطة O ومتعامدين. وهكذا تنقسم الدائرة إلى أربعة أرباع. لنفرض أن القطر EOW هو صورة نصف خط الاستواء الذي يكون فيه الطول مساوياً للصفر في النقطة E، ولـ 90° في النقطة O، ولـ 180° في النقطة W. لنقسم خطوط الأشعة الأربعة وأرباع المحيط إلى عدد مناسب من الأجزاء المتساوية. ليكن عدد الأجزاء مساوياً لتسعين جزءاً فيكون الجزء مساوياً لدرجة واحدة. لترقم الأقسام نحو الأعلى ونحو الأسفل، انطلاقاً من E وO وW، بحيث يكون ارتفاع القطب الشمالي N مساوياً لـ 90°، ويكون ارتفاع القطب الجنوبي S مساوياً لـ 90°-. وهكذا تتكون شبكة الإحداثيات من جماعتين من الأقواس الدائرية. أما مسقط خط الزوال الذي طوله  $\lambda$ ، فهو قوس الدائرة الوحيدة التي تمر بالنقطتين N وS وبالنقطة المحددة بالطول  $\lambda$  على الخط EW. ومسقط خط العرض المحدد بالزاوية  $\phi$  هو قوس الدائرة التي تمر بالنقط الثلاث المحددة بالزاوية  $\phi$  والواقعة على كل من الأقواس NBS وNOS وNWS.

لقد سُرّ البيروني، بشكل ظاهر، بهذا البنيان لأنه استنتج منه عبارات لحساب أشعة الأقواس الإحداثية ولتحديد مواقع مراكزها. وكان من حقه أن يكون كذلك لأن الالتواء قليل في القسم المركزي من المخارطة، والمسافات الشعاعية محفوظة جيداً حول هذا القسم. أما المنطقة التي يحدث فيها التمدد الأكبر فتقع على الأطراف. وبما أن هذا الإسقاط يشبه الإسقاط التجسيمي الذي سنعرضه أدناه، فإنه يكاد يكون غملياً مطابقاً.

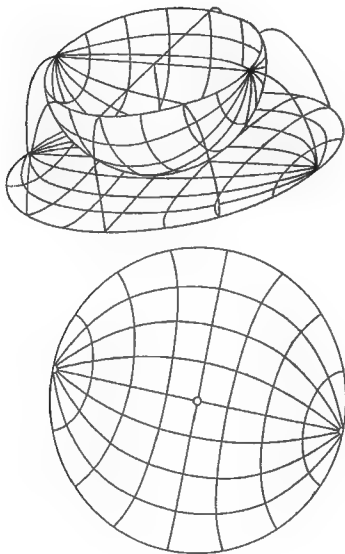
قد يتساءل المرء كيف توصل البيروني إلى التفكير بهذا النظام. حسب رأي برغرن (Berggren)<sup>(٢٧)</sup>، ما هذا النظام إلا توسيع للنظام الثاني لبطلميوس ليشمل نصف الكرة بكاملها، وذلك نظراً لأن شبكة الإحداثيات مؤلفة من أقواس دائرية مقسمة بالنظام.

قد يكون البيروني غير مطلع على خرائط لبطلميوس. وهذا ما يزيد في احتمال كون هذا النظام كثير القرب من طريقة التساوي في البعد السمتي التي تتخذ إحدى نقط خط الاستواء كمركز والتي تمثل نصف كرة واحداً. وفي هذه الحالة الخاصة تسقط خطوط الزوال على خطوط منتظمة متناظرة يمر كل واحد منها بالقطبين ويأخذى التناوب المتباعدة بانتظام على المسقط المستقيم لخط الاستواء. أما مساقط خطوط العرض فهي منتظمة، يمر كل واحد منها بنقطتي الدائرة وينقطة القطر العمودي حيث تكون قيمة  $\phi$  معينة. هذه الخطوط ليست دوائر، ولكنها قريبة من الدوائر. وقد رسمها البيروني كما هي.

Berggren, «Al-Bīrūnī on Plane Maps of the Sphere», pp.47-96.

(٢٧) انظر:

والمرجع<sup>(٣٨)</sup> يمثل شبكة إحداثيات التساوي في البعد السمتي وشبكة الإسقاط الكروي فوق بعضهما. وهذا ما يظهر أنهما متقاربتان كثيراً.



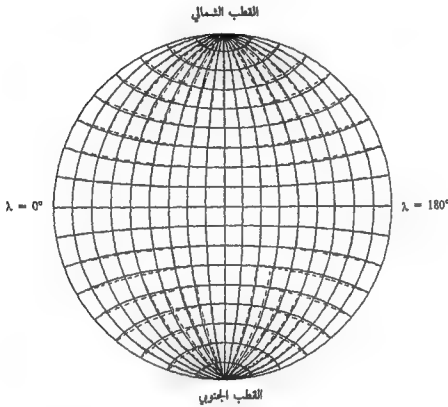
الشكل رقم (٦ - ٣)

طريقة التساوي في البعد السمتي.

(٣٨) انظر: Edward Stewart Kennedy and Marie-Thérèse Debarnot, «Two Mappings

Proposed by Bīrūnī,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 1 (1984), pp. 145 - 147.

نحن لا نعرف بوجود تطبيق شرقي للإسقاط الكروي. إلا أنه ظهر من جديد في أوروبا بعد مدة ستة قرون، بشكل مستقل عن البيروني. فقد نشر صفلي اسمه جيانباتيستا نيكولوزي (Gianbattista Nicolosi)، في سنة ١٦٦٠م، مثلين تطبيقين لهذا الإسقاط، أحدهما يمثل نصف الكرة الأرضية الشرقي، والآخر يمثل نصفها الغربي<sup>(٣٩)</sup>. ثم ظهر تطبيق آخر سنة ١٦٧٦م، وتبعته تطبيقات أخرى. ففي سنة ١٧٠١م قدم العالم الفرنسي فيليب دو لاهير (Philippe de la Hire) وصفاً لنظام خرائطي مبتكر. وكانت بعض الخطوط الإحداثية فيه إهليلجية، ولكن شبكة الخطوط الإحداثية فيه تشبه إلى حد بعيد شبكة الإسقاط الكروي.



الشكل رقم ( ٦ - ٤ )

شبكة الخطوط الإحداثية الخاصة بطريقة التساوي في البعد السمتي ممثلة بخطوط متواصلة، وشبكة الخطوط الإحداثية بطريقة الإسقاط الكروي ممثلة بخطوط متقطعة على نصف كرة.

(٣٩) انظر: Macaya d'Avezac, «Coup d'œil historique sur la projection des cartes de géographie», *Bulletin de la société de géographie*, vol. 5, no. 5 (1863), p. 342.

أما عالم الخرائط الإنكليزي آرون أروسميث (Aaron Arrowsmith) فقد نشر سنة ١٧٩٤ خريطة للعالم. وقال ضمن ملاحظاته التفسيرية التي رافقت الخريطة، انه اختار إسقاط لاهير لأنه الأفضل. ثم وصف، بعد ذلك بناء شبكة الإحداثيات بأقواس الدوائر بنفس الطريقة التي استخدمها البيروني<sup>(٤٠)</sup>. ولسنا نقول بأن البيروني قد أثر مباشرة على أروسميث. ولكن ما يدعو إلى الدهشة هو أن رجلين، أحدهما في القرن الحادي عشر والآخر في القرن الثامن عشر، توصلا، للسبب نفسه، إلى اختيار الخط الأكثر بساطة.

## د - الإسقاط التجسيمي الإستوائي

يتم، في الإسقاط التجسيمي، إسقاط نقط الكرة على مستوى دائرة كبرى معينة انطلاقاً من أحد قطبي هذه الدائرة. لقد تم اكتشاف هذا الإسقاط وميزته الأساسية منذ زمن بعيد ربما يعود إلى حوالي سنة ١٥٠ قبل الميلاد<sup>(٤١)</sup>. وهذه الميزة هي أن الدوائر تسقط على دوائر. وكان التطبيق الرئيس لهذا الإسقاط هو الأسطرلاب النموذجي الذي يتخذ فيه القطب الجنوبي السماوي كنقطة للإسقاط.

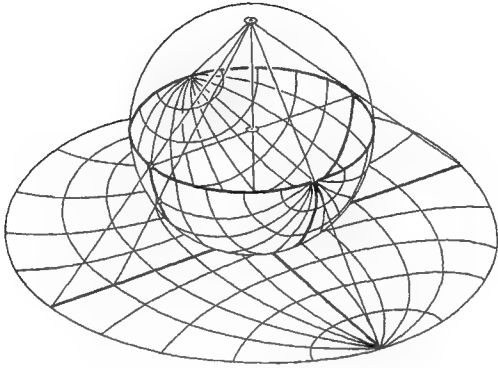
ولكن العربي الإسباني، الزرقالي، ابتكر، حوالي سنة ١٠٥٠م أسطرلاباً سماه «الصفحة» (sappea) في اللغة اللاتينية الغربية)، يستخدم فيه الإسقاط التجسيمي انطلاقاً من نقطة على خط الاستواء<sup>(٤٢)</sup>. انتشرت هذه الآلة في أوروبا. وتم تبني طريقة الإسقاط المستخدم فيها، في رسم الخرائط الأرضية. وأصبحت هذه الطريقة، في أواخر القرن السادس عشر، الطريقة المهيمنة في رسم خرائط العالم<sup>(٤٣)</sup>، حتى إنه خلط بينها وبين الإسقاط الكروي الموصوف أعلاه. ويمكن التمييز بين هاتين الطريقتين إذا لاحظنا أن المسافات، بين تداريع خط الاستواء في الخرائط التجسيمية، تعتمد قليلاً عند طرف الخريطة. بينما تبقى المسافات ثابتة في خرائط الإسقاط الكروي.

(٤٠) المصدر نفسه، ص ٣٥٩.

(٤١) انظر: Otto Neugebauer, «The Early History of the Astrolabe: Studies in Ancient Astronomy IX», *Isis*, vol. 40, no. 121 (August 1949), pp. 240 - 256.

(٤٢) انظر: José María Millás-Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel* (Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto «Miguel Asín», *Recuadros de Estudios Árabes de Madrid y Granada*, 1950).

(٤٣) انظر: Johannes Keuning, «The History of Geographical Map Projections until 1600», *Imago Mundi*, vol. 12 (1955), pp. 7 - 9.



الشكل رقم (٦ - ٥)

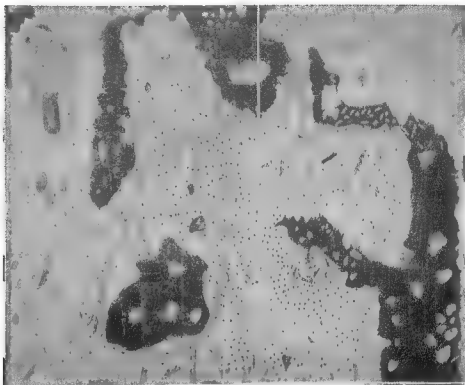
الإسقاط التجسيمي الاستوائي .

## ٥ - خريطة الإدريسي

كانت الجغرافيا من بين الاهتمامات الفكرية العديدة للملك صقلية النورمندي روجيه الثاني. لقد كلف روجيه الثاني المغربي أبو عبد الله محمد الشريف الإدريسي بتأليف أطلس كامل للعالم. ودعم المشروع بسخاء، ومول الأسفار البعيدة التي زادت، بفضل التقارير التي جلبتها، من المراجع المكتوبة التي كانت تحت تصرف الإدريسي. وقد تحقق الهدف المطلوب من هذا المشروع سنة ١١٥٤م بعد خمس عشرة سنة من العمل، وذلك بالحصول على خريطة دائرية للعالم<sup>(١٤)</sup>، وخريطة مستطيلة أكبر بكثير من الأولى، ونص مرافق لهما باللغة العربية.

(١٤) انظر: Konrad Miller, *Mappae Arabicae, Arabische Welt - und Länderkarten*, 6 vols.

(Stuttgart: Selbstverlag des Herausgebers, 1926 - 1931), vol. 5, p. 160.



#### الصورة رقم (٦ - ١)

الإدريسي، نزهة المشتاق في إحتراق الأفاق

(باريس، مخطوطة المكتبة الوطنية، حربي ٢٢٢١).

يمكن لمخطوطة هذه الخرائط إذا رُكبت من جديد أن تعطي صورة للعالم  
كما يصفه الإدريسي من المغرب إلى الهند.

تتألف الخريطة الكبرى<sup>(٤٥)</sup> من سبعين ورقة مستطيلة. وتجمع هذه الأوراق في سبعة  
ملفات، وفي كل ملف عشر أوراق. ويظهر الشمال في أسفل الخريطة، خلافاً للتقاليد

(٤٥) توجد أحدث نسخة في: Konrad Miller, *Weltkarte des Arabers Idrisi vom Jahre 1154* (Neudruck des 1928 erschienenen Werkes) (Stuttgart: Brockhaus, 1981).

الحديثة. هناك مئات من العناصر الجغرافية والمدن، ولكن الطريقة المثبتة لتحديد مواقعها على الخريطة ليست واضحة. أما الطرفان العلوي والسفلي لكل ملف فهما مطابقان للطرفين العلوي والسفلي لكل من الأقاليم السبعة المعروفة في العصور القديمة<sup>(٤٦)</sup>.

إن تحديد هذه المناطق على سطح الكرة الأرضية مرتبط بعلم الفلك. يبدأ الإقليم الأول، نظرياً، على خط العرض الذي يكون أقصى طول للنهار عليه مساوياً لاثني عشرة ساعة وثلاثة أرباع الساعة. وينتهي عندما يبدأ الإقليم الثاني على خط العرض الذي يكون أقصى طول للنهار عليه مساوياً لثلاث عشرة ساعة وربع الساعة. وهكذا تتتابع الأقاليم باتجاه الشمال، بحيث يوافق كل حد من حدودها زيادة نصف ساعة في الطول الأقصى للنهار.

إن عروض الأقاليم، تبعاً لهذا التحديد، تتناقص باتجاه الشمال. إلا أنها، على خريطة الإدريسي تميل للاحتفاظ بعرض ثابت مساوٍ لدرجات. وذلك ما تمكن رؤيته على سلم جزئي للعروض على طول الطرف الأيمن للخريطة<sup>(٤٧)</sup>.

كل شيء يدل على أن الإدريسي لم يكن رياضياً كبير التجربة، وأنه كان يجهل علم الثلاثيات. إلا أن طرقة التقريبية العملية كانت ملائمة جيداً لكثرة المعلومات التي كانت تحت تصرفه والتي غالباً ما كانت متناقضة. وهو يشير، في مقدمة نصه<sup>(٤٨)</sup>، إلى اثني عشر مرجعاً، منها مرجع واحد، وهو الجغرافيا لبطلميموس، معروف باستناده على الإحداثيات. إلا أن أغلب الجغرافيين المسلمين كانوا يميلون إلى تقديم المعطيات تبعاً للأقاليم، حتى أن الإدريسي قد وضع الأماكن بمهارة داخل أقاليمها الخاصة، دون أن يهتموا بالحدود الدقيقة لتلك الأقاليم. ويظهر البحث أن أخطأه، في الواقع، لم تكن كبيرة<sup>(٤٩)</sup>.

وكما هي الحال بالنسبة إلى الأطوال، ليس هناك أي أثر لسلم أفقي على الخريطة. لقد رأينا أعلاه كيف كان تحديد الأطوال قليل الدقة خلال القرون الوسطى، وهذا ما يفسر حذر الإدريسي. وإذا كان يظن (تبعاً للفكرة الراجعة في ذلك العصر) أن القسم المسكون من الأرض يمتد على طول قدره 180°، نستنتج من ذلك أن كل ورقة تغطي 18°. فإذا قارنا

---

(٤٦) انظر: Honigsmann, *Die sieben Klimata*, and Ahmad Dallal, «Al-Bīrūnī on Climates»,

*Archives Internationales d'histoire des sciences*, vol. 34 (1984), pp. 3 - 18.

(٤٧) انظر: Miller, *Mappa Arabica, Arabische Welt-und Länderkarten*, vol. 5, p. 164.

(٤٨) انظر: Al-Idrisi, *Opus Geographicum*, sous la direction de l'Institut Oriental de

Naples (Leiden: E. J. Brill, 1970-), et A. Jaubert, *La Géographie d'Edrisi* (Paris: [s. n.], 1836 - 1840), réimprimé (Amsterdam: Philo Press, 1975).

(٤٩) انظر: Edward Stewart Kennedy, «Geographical Latitudes in al-Idrisi's World Map»,

*Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 3 (1986), pp. 265 - 268.



هذا يعروض الأقاليم، يظهر لنا أن الخريطة هي من نوع خريطة مارينوس، لأن درجة الطول فيها تساوي ستة أعشار درجة العرض تقريباً. وهذا ما يجعل الالتواء في حده الأدنى في الإقليمين السادس والسابع. أما في الأقاليم الأخرى، فإن المسافات من الشرق إلى الغرب أقصر مما يجب أن تكون بالمقارنة مع المسافات من الشمال إلى الجنوب.

يشير الإدريسي في مقدمته إلى «لوح الترسيم» وإلى «سلم من حديد». ولكن شكل ووظيفة كل من هذين العنصرين ما زالتا غامضين. ولكن المراجع تعطي في أغلب الأحيان المسافات بين الأماكن. وقد تنص طريقة معقولة على أن توضع في أول الأمر، المدن البعيدة التي تبدو مواقعها محددة بشكل موثوق. وبعد ذلك، توضع النقط المتوسطة بثلاثيات متتابعة في لوح الترسيم، قبل أن تنقل عند الاقتضاء إلى الخريطة النهائية المنقوشة في الأصل على أوراق من الفضة.

ومهما كانت الطريقة المتبعة، فإن النتيجة كانت أروع ما أنجز في علم الخرائط الإسلامي. وقد استندت عليها مؤلفات عديدة تتضمن دراسات لمناطق خاصة في الخريطة، كالجزر البريطانية<sup>(٥٠)</sup> واسكندنافيا<sup>(٥١)</sup> وألمانيا<sup>(٥٢)</sup> وإسبانيا<sup>(٥٣)</sup> وبلغاريا<sup>(٥٤)</sup> وإفريقيا<sup>(٥٥)</sup> والهند<sup>(٥٦)</sup>.

(٥٠) A. F. L. Beeston, «Idrisi's Account of the British Isles», *Bulletin of the School of*

*Oriental and African Studies*, vol. 13 (1950), pp. 265 - 280.

(٥١) أوليفر جانيس تونليو - تالغرين، *Du nouveau sur Idrisi*, édition critique, أنظر: Olive Johannes Tunlio - Tallgren, *Du nouveau sur Idrisi*, édition critique, traduction, études par O. J. Tunlio - Tallgren (Helsinki: Imprimerie de la société de littérature finnoise, 1936).

(٥٢) ويلهيلم هورنبرخ، *Deutschland und sein Nachbarländer nach der grossen* أنظر: Wilhelm Hoernerbach, *Deutschland und sein Nachbarländer nach der grossen Geographie des Idrisi* (Stuttgart: [n. pb.], 1937).

(٥٣) رينهارت بيتر أوب دويزي، ed. et tr., *Description de l'Afrique et de l'Espagne*, أنظر: Reinhardt Pieter Anpe Dozy, ed. et tr., *Description de l'Afrique et de l'Espagne*, texte arabe pub. pour la première fois d'après les man. de Paris et d'Oxford avec une traduction, de notes et un glossaire par R. Dozy et M. J. de Goeje (Leiden: E. J. Brill, 1866), réimprimé (Amsterdam: Oriental Press, 1969).

(٥٤) بوريس نودكوف، *B'lgariya i c'ednite i semi prez XII vek spored 'geografiyata' na* أنظر: Boris Nodkov, *B'lgariya i c'ednite i semi prez XII vek spored 'geografiyata' na Idrisi* (Sofia: Nauka i Isustvo, 1960).

(٥٥) هانس فون ميزك، «Idrisi und Ptolemäus», *Orientalistische Literaturzeitung*, Bd. أنظر: Hans von Mzik, «Idrisi und Ptolemäus», *Orientalistische Literaturzeitung*, Bd. 15 (1912), pp. 404 - 405.

(٥٦) آل-إدريسي، *India and the Neighboring Territories in the Kitāb nuḥḥat al-muḥitāq* أنظر: Al-Idrisi, *India and the Neighboring Territories in the Kitāb nuḥḥat al-muḥitāq ft-Ḥitrat al-āfāq of al-Sharīf al-Idrisi*, a translation, with commentary, of the passages relating to India, Pakistan, Ceylon, parts of the Afghanistan and the Andaman, Nicobar and Maldiv Islands, etc, by S. Maqbul Ahmad, with a foreword by V. Minorsky, Publications of the De Goeje Fund; 20 (Leiden: E. J. Brill, 1960).



## ٦ - الخرائط الإيرانية ذات الإحداثيات المستطيلة

توجد عدة نسخات من كتاب جغرافي كتبه حوالي سنة ١٣٤٠م مؤلف اسمه حمد الله المستوفي القزويني. ويتضمن الكتاب خريطة نجد منها نسخة طبق الأصل في كتاب ميلر (Miller) (٥٧).

تغطي هذه الخريطة منطقة تمتد من سوريا غرباً إلى كشمير شرقاً، ومن اليمن جنوباً إلى خوارزم شمالاً. والخريطة مقسمة إلى عدة مستطيلات بخطوط متوازية ومتعامدة فيما بينها ومتباعدة بمسافات مساوية للدرجة واحدة. وتتضمن الخريطة أسماء ١٧٠ مدينة كل واحدة منها مسجلة داخل المستطيل الموافق لمرورها ولطولها. إن التحقق من إحداثيات ما يقرب من اثنتي عشرة مدينة من هذه المدن، يظهر أن هذه الإحداثيات مطابقة، باختلافات لا تتعدى عدة درجات، لتلك الواردة في الجداول الجغرافية لأزياج الفرس. أما للمميزات الجغرافية فلا توجد على هذه الخريطة إلا فيما يخص الخطوط الساحلية.

إن هذه الخريطة، كما تقدم، تعطي مثلاً قيمياً، ولو كان بدالياً، لشبكة من الإحداثيات. وهي الشبكة الوحيدة الموجودة تحت تصرفنا، للخرائط الإسلامية في القرون الوسطى. وهي تتبع التعليمات الموجودة في مقدمة خريطة شهاب المذكورة أعلاه. وتوجد خريطة أخرى للعالم في كتاب المستوفي، ولكنها أقل نجاحاً من الخريطة السابقة. ومن الأفضل عرضها في آن واحد مع خريطة حافظي أبرو (المتوفى سنة ١٤٣٠م) (٥٨). وذلك لأننا نشعر بأن هذا الأخير قد تأثر بشكل واضح بالمؤلف السابق. ونظراً لأخطاء الناسخين العشوائية، يجب استخلاص النتائج استناداً إلى أكبر عدد ممكن من المخطوطات. وتوجد نسختان من خريطة المستوفي للعالم في كتاب ميلر (٥٩).

تدور الفكرة العامة، في هاتين الخريطتين، حول رسم شبكة مربعة من الإحداثيات المستقيمة، تتراوح أطوالها من 0° إلى 180°، وتتراوح عرضها (تبعاً للمصطلحات الحديثة) من 90° إلى 90°. أما المسافة بين خطين متوالين فتساوي عشر درجات في خريطة المستوفي وخمس درجات في خريطة الحافظ. وترسم دائرة محوطة بالربيع لتمثيل نصف الكرة المسكون. أما الخريطة نفسها فهي داخل الدائرة. ويتم إقصاء أو إهمال المناطق التي تقع إحداثياتها في الزوايا. وقد أحجم المستوفي بتعقل عن ترسيم المدن واكتفى برسيم المناطق. أما الحافظ فقد وضع على الخريطة عدداً لا بأس به من المدن الواقعة في القسم المركزي منها حيث يكون الالتواء بسيطاً.

(٥٧) انظر: Miller, *Mappe Arabica, Arabische Welt-und Länderkarten*, vol. 5, clichés 34 - 35 et 86.

(٥٨) وهي منشورة في: المصدر نفسه، مج ٥، الصورتان ٧٢ و ٨٢.

(٥٩) المصدر نفسه، مج ٥، الصورتان ٨٣.



## علم الملاحة العربي

هنري غروسّي - فرانج (\*)

### مقدمة

تستند المعرفة الملاحية، بشكل رئيس، على تراكم تجارب الملاحين، لكنها أيضاً تشكل علماً يأخذ مكانه على ملتقى عدة علوم مختلفة. نذكر من هذه العلوم، على الأخص، علم

---

(\*) تبطان إبحارات بعيدة المدى - فرنسا، متوفى.

أعاد هنري روكات (Henri Rouquette)، تبطان ملحة، تحرير هذا النص بالكامل، كما قام بترجمة هذا الفصل بنحوي المبسوط.

Luís Guilherme Mendonça de Albuquerque, *Quelques* : انظر : *commentaires sur la navigation orientale* (Paris: Arquivos do Centro Cultural, Fondation C. Gulbenkian, 1972); Leo Bagrow, *The Vasco Gama's Pilot* (Genova: Civico Istituto Colombiano, [1951?]; T. A. Chumovski, *Thalāth rūḥmanajāt majhūla li Ahmad b. Mājid*, texte arabe et traduction russe (Moscou, Leningrad: [n. pb.], 1957); Gabriel Ferrand: ed., *Instructions nautiques et routiers arabes et portugais des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles*, 3 vols. (Paris: Geuthner, 1921 - 1928), tomes I et II: textes arabes, tome III: *Introduction à l'astronomie nautique arabe, et L'Élément persan dans les textes nautiques arabes des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles* (Paris: Imprimerie nationale, 1924); Henri Grosset - Grange: «Analyse des voyages d'Inde à Malacca», *Navigation*, vol. 81 (1973), pp. 97 - 109; «Une carte nautique arabe au moyen âge», *Acta Geographica*, vol. 27 (1976), pp. 33 - 48; «Noms d'étoiles, quelques termes particuliers», *Arabica*: (1972), pp. 240 - 245; (1977), pp. 42 - 46, et (1979), pp. 90 - 98; «La Côte africaine dans les routiers nautiques arabes», *Azania* (Nairobi, British Institute in Eastern Africa), vol. 13 (1978), pp. 1 - 17; «La Science nautique arabe», *Jeune marine*, nos. 16 à 29 sauf 22 (1977 à 1979), et *Glossaire du parler maritime arabe, autrefois et aujourd'hui* [sous presse, 1992?];

الفلك والجغرافيا وعلم المناخ (الأرصاد الجوية)، بالإضافة إلى مسألة آلات القياس وآلات الرصد.

إن عرض تاريخ علم الملاحة العربي صعب لأن النصوص القديمة ضائعة حالياً. وليس لدينا إلا النصوص المكتوبة في نهاية القرن الخامس عشر الميلادي وبداية القرن السادس عشر الميلادي، التي تصف فن الملاحة في المحيط الهندي فقط. وهكذا سيقتصر عرضنا، بشكل اضطراري، على تحليل التعليمات البحرية للمؤلفين ابن ماجد وسليمان المهري. لقد ظهر هذان البحاران في نهاية فترة زمنية تم خلالها، تقريباً، نضوج تقليد علمي كان هذان البحاران من ورثته. لكننا لا نستطيع وصف التطور التاريخي لهذا التقليد، بسبب النقص الحالي لمعارفنا الخاصة بمصادر علم الملاحة العربي.

= شهاب الدين أحمد بن أبي الركاب بن ماجد: كتاب الفوائد في أصول علم البحر والقواعد، تحقيق إبراهيم خوري وهزة حسن، العلوم البحرية عند العرب، ج ١، ق ٢ (دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية، ١٩٧١)، والمقدمة، تحقيق وتقديم إبراهيم خوري (دمشق: نشرة الدراسات الشرقية، ١٩٧١)؛ Albert Kammerer, ed. et tr., *Le Routier de dom Joao de Castro: L'Exploration de la Mer Rouge par les Portugais en 1541* (Paris: Geuthner, 1936); Paul Kunitzsch, «Zur Stellung der Nautikertexte innerhalb der Sternnomenklatur der Araber,» *Der Islam*, vol. 43 (1967), pp. 53 ss et vol. 56 (1979), pp. 305 ss;

سليمان بن أحمد بن سليمان للمهري، الممثلة للمهري في ضبط العلوم البحرية، تحقيق إبراهيم خوري، العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١ (دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٠)؛ للمهاجر الفاضل في علم البحر الزاخر، تحقيق إبراهيم خوري، العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١ (دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٠)، وبمسألة ثلاثة الشمس واستخراج قواعد الأسوس. تحفة النحول في تهذيب الأصول في أصول علم البحر. كتاب شرح تحفة النحول في تهذيب الأصول في أصول علم البحر، تحقيق إبراهيم خوري، العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١ (دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٢)؛ شهاب الدين أحمد بن ماجد بن محمد السعدي بن ماجد، ثلاث أزهار في معرفة البحار، تحقيق ونشر نبيدور شوموفسكي؛ ترجمة وتعليق محمد منير مرسى (القاهرة: عالم الكتب، ١٩٦٩)؛ Ahmad Nafis, *Muslim Contribution to Geography* (Lahore: M. Ashraf, [1947]); Robert Bertram Serjeant, *The Portuguese off the South Arabian Coast: Hadrami Chronicles, with Yemeni and European Accounts of Dutch Pirates off Mocha in the Seventeenth Century* (Oxford: Clarendon Press, 1963); حسن صالح شهاب: فن الملاحة عند العرب (بيروت: دار العودة؛ صنعاء: مركز الدراسات والبحوث اليمني، ١٩٨٢)؛ الدليل البحري عند العرب (الكويت: مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، ١٩٨٣)، وطرق الملاحة التقليدية في الخليج العربي (الكويت: د. ن.، ١٩٨٤)؛

Gerald Randall Tibbetts, *Arab Navigation in the Indian Ocean before the Coming of the Portuguese* (London: Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland, Sold by Luzac, 1971); Alan John Villiers, *Sons of Sindbad* (Portway - Bath: Cedric Chivers, 1966), and Reinhard Wieber, «Überlegungen zur Herstellung eines Seckartogramms anhand der Angaben in den Arabischen Nautikertexten,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 4, no. 1 (Fall 1980), pp. 23 - 47.

وينبغي أن نعرض، بشكل سريع، الإطار التاريخي والجغرافي الذي اندرجت فيه أعمال هذين البحارين، وأن نشير أيضاً إلى الخطوط البحرية وإلى المراكب التي كانت تسير عليها. وسنذكر أيضاً ببعض مفاهيم الملاحة، القديمة منها والحديثة، وبموجز للمصطلحات البحرية. كل هذا ضروري لتتبع عرض وتحليل النصوص أولاً، ومن بعد ذلك، لإدراك أهمية المكتسبات التي أحرزت، بفضل تجارب الملاحة العربية.

## أولاً: الوضع التاريخي والوضع الجغرافي

لقد تمت تجربة البحارين ابن ماجد والمهري في إطار جغرافي محدد بإحكام، وهو إطار المحيط الهندي: طريق الاحتكاك التقليدي بين حضارات الغرب (الرومانية ثم العربية) وبين الحضارة الصينية. إنه ميدان الرياح المنتظمة والمتناوبة المسماة بالرياح الموسمية. وهذا ما شجع، بلا انقطاع، المبادلات التجارية الكثيرة النشاط بين شواطئه المختلفة.

تمتد الفترة التاريخية، التي تهتما في هذه الدراسة، من سنة ١٤٥٠م إلى سنة ١٥٥٠م تقريباً. وهي الفترة المعتبرة إجمالاً كفترة انتقالية بين القرون الوسطى والعصور الحديثة. إنها فترة «الاكتشافات الكبرى» التي أخذ خلالها البحارة البرتغاليون يلتفتون حول القارة الأفريقية ويدخلون المحيط الهندي الذي ظل خلال أكثر من خمسة قرون ميداناً مقتصرأ على البحارة العرب والفرس والهنود والصينيين.

وكان للعرب، في ذلك العصر، نقطتا ارتكاز رئيستان:

- الساحل الشرقي الأفريقي الذي كان تابعاً لسلطنة عمان مع مرافقه العديدة (التي بلغ عددها ٣٧ على ما يظهر) ومن أهمها مقديشو وماليندي (في كينيا الحالية) وقلوى (تنزانيا) وسفالة (الموزمبيق).

- سلطنة دلهي (ابتداء من سنة ١٢٠٦م؛ وكانت تسيطر على كل الدكن في سنة ١٣١٠م).

وكان البحارة العرب يتجولون، بفضل الرياح الموسمية الجنوبية الغربية، بين هذين القطبين، حتى انهم تعدوها باتجاه المضائق. وقد تجاوز مركب هندي (أو عربي) رأس الرجاء الصالح سنة ١٤٢٠م ودخل المحيط الأطلسي.

وكان هؤلاء البحارة يتلاقون على هذه الطرق مع البحارة الصينيين الذين كانوا يسجلون الانتصارات. فقد مثلت خريطة كورية الرأس الأفريقي، منذ سنة ١٤٠٢م. وبدأت سنة ١٤٠٥ الحملات البحرية الكبيرة لأمير البحر الصيني زهنغ هي. وقد وصل هذا الأخير، بعد عدة محاولات، إلى اندونيسيا وإلى الهند، ثم تجاوزهما ووصل إلى إفريقيا سنة ١٤١٧. ثم عاد إليها بين سنة ١٤٣١م وسنة ١٤٣٣م.

هل كان المحيط الهندي، إذًا، تحت السيادة الصينية العربية؟ يبدو أن العرب قد حافظوا فيه على وجودهم الذي كان تجارياً بشكل أساسي.

إن إقبال طريق الحرير البرية، بسبب السياسة الانعزالية الكارهة للأجانب التي مارستها أسرة منغ الحاكمة في الصين، سمح للعرب باحتكار التجارة بين الشرق والغرب. وقد استفادوا من هذا الوضع حتى تدخل البرتغاليين.

فقد بدأ هؤلاء يلتفتون تدريجياً حول أفريقيا، إذ وصل بارتليمي دياس (Barthelemy Dias) إلى رأس الرجاء الصالح سنة ١٤٨٨م. وتابع فاسكو دو غاما (Vasco de Gama) الطريق شمالاً بمحاذاة الموزمبيق (حيث التقى في كليمان (Quelimane) بأربعة مراكب عربية محملة بالذهب والجواهر والماس والتوابل). وقد قدم سلطان ماليندي، لكي ينافس سلطان مومبازا، لفاسكو دو غاما أحسن قائد بحري في المحيط الهندي، وهو ابن ماجد المعروف بمؤلفاته عن الملاحة منذ سنة ١٤٦٢م. وقد قاد هذا الأخير الأسطول البرتغالي لمدة ٢٣ يوماً إلى كاليكوت (Calicut) (جنوب ماهي (Mahé) في كيرالا الحالية).

إن هذا العمل الباهر يدل على أن من قام به ريان مجرب. لكننا، على الرغم من ذلك، لا نستطيع الجزم بشكل قطعي، بأن من أنجزه هو ابن ماجد نفسه كاتب المؤلفات البحرية. ومهما يكن من أمر، فإن عمل هذا البحار قد أدى، من دون وعي منه، إلى إبعاد العرب عن الملاحة في المحيط الهندي، أو بالأقل، إلى إنهاء سيطرتهم على الملاحة فيه (لأن ملاحظتهم لم تزل ناشطة فيه حتى اليوم بين إفريقيا الشرقية والصومال وشبه الجزيرة العربية وشبه القارة الهندية وجزر المالديف).

## ثانياً: الخطوط البحرية والمراكب

لقد ساعدت ظاهرة الرياح الموسمية في إقامة «خطوط» بحرية منتظمة تم استثمارها من قبل شركات عائلية لتجهيز السفن.

كان البحارة العرب ينطلقون من الموانئ الأفريقية، وهي مدن ناشطة ومنتاسة فيما بينها. وكانت رحلاتهم تنتهي في ماليزيا، بعد التوقف على الشاطئ الغربي للهند (في غوا أو كاليكوت). أما وصولهم إلى الصين، فهو غير مؤكد (هل كان لهم محطة تجارية في كانتون؟). وكانوا ينقلون من الغرب إلى الشرق العاج والذهب، أي المادتين الأساسيتين لصنع الأصناف الكمالية، بالإضافة إلى العبيد. وتعود هذه السفن محملة بالقطن والحرير والتوابل والأواني الخزفية والصينية.

وكانت الرياح الموسمية تفرض اتجاه السير على هذه الخطوط. فمن تشرين الثاني/نوفمبر إلى آذار/مارس تهب هذه الرياح من إفريقيا الساخنة إلى الهند الباردة بالاتجاه الشمالي الشرقي. ولكن الشمس تزيد من حرارة الهند، ابتداء من شهر نيسان/أبريل فتسبب



انعكاساً للرياح الموسمية التي تهب عندئذ في الاتجاه الجنوبي الغربي. ثم تهب هذه الرياح من حزيران/يونيو إلى أيلول/سبتمبر على امتداد بحر العرب وخليج البنغال، في جميع الاتجاهات.

وكان هناك نوعان من الرحلات: النوع الأول يمثل بالخط البحري الموصل إلى ملقة. وهو يلتف من بعيد جداً حول جزيرة سيلان لأسباب مختلفة (لا تظهر من بعيد إلا الثلوج التي تغطي التضاريس، أو «البروق الكاذبة» في الليل). بعد ذلك تمتد الطريق البحرية باتجاه جزر نيكوبار، استناداً إلى الأرصاد. أما النوع الثاني فهو يمثل بالخط الذي يصل بين الهند وعمان، في نهاية الفترة التي تهب فيها الرياح الموسمية من الشرق. تتجه السفينة أولاً نحو سوقطرة، التي تظهر في بعض الأحيان قبل ظهور التسامم الأول للرياح الموسمية ذات الاتجاه المعاكس. عندئذ تهب قيادة السفينة باتجاه الريح نحو شبه الجزيرة العربية. ثم تتواصل الرحلة على طول ساحل شبه الجزيرة العربية. وإذا لم تتنجح السفينة في الاقتراب من هذا الساحل وجب الرجوع إلى الهند والانتظار هناك عدة أشهر. وهذا ما يضاعف، بالأقل، طول الطريق الواجب قطعها بالنسبة إلى الطريق المباشر.

أما الخطوط البحرية المستقيمة كتلك التي تصعد البحر الأحمر، فلم تكن الأخطار المحيطة بها أقل أهمية من الأخطار الأخرى.

غير أن مجموعة الخطوط البحرية تتضمن بعض النقاط الغامضة. وذلك أن المخطوطات نجعلنا نتكهن بوجود بعض المحطورات في جنوب شرق سومطرة وما بعد سنغافورة، وفي خليج البنغال والخليج العربي - الفارسي. وخلافاً لذلك، فإن صحة أرقام العروض الخاصة بـ لاسوند (La Sonde) وشاغوس (Les Chagos) وبيمبا (Pemba)، تدل على وجود خطوط مباشرة بينها من زمن غير بعيد. أما المهري فيقول ما معناه: إن ملاحي المحيط الهندي والنصارى متفقون على تلك القيمة لكن أهل الصين وجاوا وما وراء... الخ. وهذا ما يدل على وجود وثائق مجهولة لا يمكن الاستغناء عنها لإتمام معارفنا. ويجب التنقيب عن هذه الوثائق في الهند والبرتغال.

يتطلب المحيط الهندي، نظراً لخصائصه المناخية، سفناً سريعة السير، قادرة على مواجهة الرياح المعاكسة، وسهلة الحركة باتجاه الرياح.

إن المراكب الشراعية (التي ما زالت مستخدمة حتى اليوم، وهي مصنوعة من خشب الساج، وذات مقدم متطاوّل ومؤخر مرتفع) والبغلات والسنايك كلها مجهزة بشراع «عربي» مزود بفرومان (وهو نوع من السارية يثبت عليها الشراع)، مصنوع حسب العادات المحلية. إنها سفن فصلية ممتازة طويلة ورفيعة. ونحن نعرف أن السفن في عصر ابن ماجد والمهري كانت قادرة على السير بعكس الريح في نهاية الفصل، أي عندما تكون الرياح خفيفة.

وذلك لكي تستطيع الوصول إلى مينائها دون أن تضطر، بسبب انعكاس اتجاه الرياح الموسمية، إلى التوقف في ميناء أجنبي.

إلا أننا لا نعرف بالتأكيد كيفية بناء وتجهيز هذه السفن التي كانت، مع ذلك، متنوعة. إن الرسوم الأكثر عحاكة لهذه السفن هي، على الأرجح، تلك الموجودة على بعض الخرائط البرتغالية في بداية القرن السادس عشر. ويمكن أن نتعرف فيها على نموذج لجهاز قيادة ما زال مستخدماً حتى اليوم على بعض السفن الكبيرة. ويكون مدير الدفة في هذا الجهاز بجانب الصاري الخلفي تقريباً (في سفينة ذات صارتين).

### ثالثاً: مختصر للمصطلحات البحرية

إشارة أو مَعْلَم: جسم ثابت جيد الرؤية موجود على الشاطئ، يسمح بمعرفة موقع السفينة في البحر.

أسطرلاب: آلة قديمة تستعمل لتحديد اللحظة التي تصل فيها نجمة ما إلى ارتفاع معين فوق الأفق.

رُسُو: اقتراب السفينة من اليابسة.

زاوية السُّمت: هي الزاوية المحصورة بين المستوي العمودي لنجم ما وبين مستوي خط الزوال في مكان معين يوجد فيه الراصد.

قَمُور: التواء السفينة لتلقي الريح بالتناوب من الجهتين اليمنى واليسرى، وذلك للسير، عادة، ضد الريح.

### إحداثيات الأجرام السماوية

طول جرم سماوي: زاوية تحدد مسقط الجرم على سطح (أو مستوي) فلك البروج. وفلك البروج هو الدائرة الكبرى التي ترسمها الأرض على الكرة السماوية في حركتها حول الشمس.

عرض جرم سماوي: زاوية تحدد مكان الجرم بالنسبة إلى الدائرة الكبرى التي يرسمها مستوي خط الاستواء الأرضي على الكرة السماوية.

الأزياج البحرية: جداول تعطي قيم بعض المقادير الفلكية الموافقة لكل يوم من أيام السنة. وفيها على الأخص إحداثيات الكواكب والشمس والقمر.

التقدير أو القطع (حسب تعبير ابن ماجد): طريقة لتحديد موضع السفينة على الخريطة، استناداً إلى مقادير الاتجاه والسرعة والهواء والتيار. ويتم التحقق من هذه النقطة

المقتدرة على الخريطة، عندما تسنح الفرصة، بواسطة رصد دقيق على أحسن وجه ممكن للنجوم والإشارات.

قاع جنداري أو عمودي: قاع قريب من الساحل يبيط عمودياً في البحر.  
مزولة: ساعة شمسية.

مرخي كبير: ربح تدفع السفينة من الخلف، مائلة بالنسبة إلى سير السفينة بزاوية قدرها  $30^\circ$  (من الجهة اليسرى أو اليمنى) (الاصطلاح المستخدم هو: «مرخي»: ...  $60^\circ$ ).

ارتفاع جرم سماوي: زاوية انجاء الجرم مع السطح (المستوي) الأفقي لمكان الراصد (الارتفاع + الزاوية السمتية =  $90^\circ$ ).

التعليمات الملاحية: مجموعة المعلومات المفيدة في الملاحة الخاصة بالسواحل والرياح والتيارات والإشارات والمناورات.

طول مكان على الأرض: الزاوية الزوجية بين سطح (مُستوي) خط زوال المكان وسطح (مُستوي) خط الزوال الأولي (مرصد غرينتش). وهي تحسب باتجاه الغرب.

عرض مكان على الأرض: الزاوية بين عمود المكان وسطح (مستوي) خط الاستواء. وهي تحسب إيجابياً باتجاه الشمال وسلبياً باتجاه الجنوب. وتحديد موضع السفينة يعني تحديد طول وعرض المكان الذي توجد فيه.

المنزل: وضع الشمس في يوم معين على الكرة السماوية في إحدى مناطق المجموعات البارزة للنجوم، أي البروج (القوس، الدلو، ...).

مستوي الزوال: هو السطح (المستوي) المحدد بعمود المكان ويمحور دوران الأرض.

زاوية زوالية لجرم ما: قيمة الارتفاع الأقصى لجرم (هو الشمس غالباً) في نقطة معينة وفي يوم معين. وهي تسمح بحساب سهل لعرض موضع السفينة. وهذا مفيد خاصة عندما تكون الطريق البحرية شمالية جنوبية بشكل ملموس.

الميل البحري: وحدة قياس المسافات تستخدم فقط في الملاحة البحرية أو الجوية. وهي المسافة بين نقطتين لهما الطول نفسه، بحيث يكون الفارق بين عرضيهما مساوياً لدقيقة. وهكذا يساوي الميل البحري ما يقرب من 1852 متراً.

ملاحة أهالي البحار: هي الملاحة في البحر بعيداً عن اليابسة (دون رؤية الأرض والإشارات).

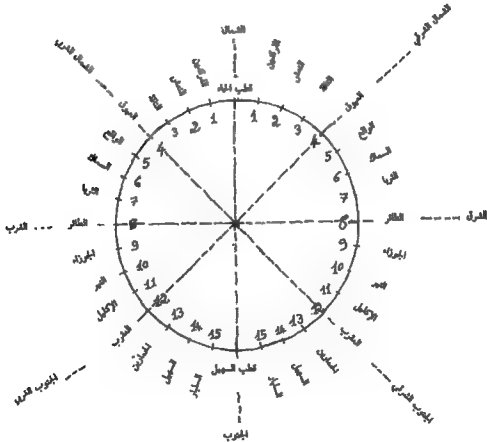
الجوش: الزاوية السفلية الأمامية للشرائح.

النامين أو العائن: الزاوية السفلية الارتفاعية للشرع.

مبادرة الاعتدالين: حركة مخروطية كثيرة البطة لمحور دوران الأرض حول موضع  
مسطحي عمودي على مستوي فلك البروج.

رياح دافعة: ريح تهب من وراء السفينة لتضخمها إلى الأمام.

الحقن: هو أحد أجزاء دائرة الرياح التي تقسم إلى ٣٢ خناً، فيكون الحن مساوياً  
لـ  $15^\circ$ ؛  $11^\circ$ . أما دائرة الرياح فهي دائرة مرسومة على ميناء الحقة (أي البوصلة أو بيت  
الإبرة). ويتم، بواسطة الأختان، تحديد وجهات الرياح الاثنتين والثلاثين. تسمى هذه  
الوجهات بأسماء النجوم، وتقسم إلى مشارق ومغارب. وهي ممثلة على دائرة الرياح كما  
يلي:



الشكل رقم (٧ - ١)

دائرة الرياح العربية مع أسماء وجهات الرياح.

## رابعاً: مبادئ الملاحة الفلكية الحديثة

سنلقي فيما يلي نظرة على الطرائق المهمة التي كان البحارة يستخدمونها لتحديد موضع السفينة حوالي سنة ١٩٥٠، أي قبل اللجوء إلى الاستعمال المكثف للأجهزة اللاسلكية الكهربائية في الملاحة. وهذا ما قد يعطي القارئ غير المطلع على المعارف الملاحية بشكل خاص، صورة أوضح عن المستوى التقني لمعاصري ابن ماجد.

### ١ - الملاحة على مرأى من اليابسة

يقام بعملية تثليث لتحديد موضع السفينة بشكل صحيح. وذلك بقياس زوايا السمات لثلاث إشارات (إذا أمكن) بواسطة البوصلة، وينقل النتيجة على الخريطة للحصول على مثلث. ويجب أن يكون هذا المثلث صغيراً بقدر المستطاع لكي يكون تحديد موضع السفينة جيد الدقة.

### ٢ - الملاحة على غير مرأى من اليابسة

إذا كانت السفينة تجري وسط الضباب، أو ليلاً بمحاذاة ساحل من دون أضواء أو في أعالي البحار، يرسم مسارها استناداً على آخر نقطة أكيدة بواسطة التقدير أو «القطع» حسب تعبير ابن ماجد. فتصبح وجهة السفينة وسرعتها (على سطح البحر) مقدرتين، وكذلك تقدر وجهة وسرعة الريح ووجهة وسرعة التيار عند اللزوم. إن هذه النتيجة تقريبية، بطبيعة الحال، ويجب التحقق من صحتها عندما تسنح الفرصة بواسطة الرصد: رصد الإشارات على الساحل عندما يصبح الشاطئ مرئياً، أو رصد الأجرام السماوية.

تستخدم، عادة، في الملاحة الفلكية طريقتان.

يتم تحديد موضع السفينة بواسطة القياسات التي تجري على ثلاثة أجرام سماوية معتبرة كإشارات. ويحدد ارتفاع كل جرم بواسطة السدسية، ويستنتج من ذلك، بواسطة الازياج البحرية، ملئقي هندسي للنقاط التي يرى منها الجرم بالارتفاع نفسه في اللحظة نفسها. ويمثل هذا الملتقى بشكل تقريبي على الخريطة بخط مستقيم. فإذا قيست في آن واحد ارتفاعات ثلاثة أجرام متباعدة عن بعضها البعض بـ  $120^\circ$  إذا أمكن، نحصل على مثلث، كما رأينا في حالة الإشارات. ويرتبط اتساع المثلث، وبالتالي ترتبط دقته، بدقة القياس المنجز على السدسية. وهذا ما يتعلق بأمور عديدة منها وضوح الجرم، ووضوح خط الأفق (ليلاً، أو نهراً وسط الضباب) وانعكاس الضوء وثبات السفينة وثبات يدي مدير السدسية... الخ. ويجعل القول إن دقة هذا القياس غير محققة.

أما بالنسبة إلى المسارات البحرية الشمالية الجنوبية، فالمهم هو تصحيح القيمة المقدرة

للعرض (إلا في حالة وجود تيار قوي مائل). إن أسرع طريقة متبعة لأجل ذلك هي الطريقة الزوالية التي نعروضها فيما يلي. يصوب مدير السدسية آتته نحو جرم سماوي في لحظة مروره بالأرجب اليومي (حسب الأزياج) في مستوي زوال المكان المعين. ويقيس ارتفاع الجرم، فيحصل بحساب بسيط على عرض مكان الرصد. إن هذه الطريقة أكثر دقة، بشكل عام، إذا طبقت على الشمس عند الظهر الحقيقي، وخاصة للارتفاعات المعتدلة (التي هي أقل من  $45^\circ$ ).

وهكذا نتضح لنا الآن الأهمية التي يعلقها البحارة في كل العصور على رصد الإشارات وعلى قابلية الرؤية وعلى ارتفاع الأجرام السماوية وعلى زاوية الزوال.

كان معاصرو ابن ماجد والمهري يستخدمون، استناداً على نفس هذه العناصر، طرائق أقل بساطة من تلك المعروضة أعلاه. لم يكن لديهم سبيل، في أول الأمر، إلى تحديد موضع السفينة على الخريطة، لأن هذه الأخيرة «لدليل السواحل» كانت شبيهة بالخرائط البحرية الحالية ذات السلم الكبيرة (تسمح هذه الخرائط برسم مسار تقريبي ينقل بعد ذلك على خرائط تفصيلية ذات سلم صغيرة). وكان البحارة، في الملاحة على مرأى من الساحل، يستخدمون تقديراتهم الخاصة (السرعة، فترة الانسياق مع التيار) التي كانوا يقارنونها بالنصوص (كأشعار ابن ماجد مثلاً) المستخدمة كتعليمات بحرية: «... للذهاب من عدن إلى غوا خذ الاتجاه كذا حتى النقطة كذا حيث تجد ريحاً بوجهة كذا في وقت كذا من أوقات السنة. خذ عند ذلك وجهة كذا إلى أن تقيس ارتفاع كوكب معين بقيمة كذا الموافقة لمكان الرسو في غوا. عندئذ انحرف نحو الشرق لتعويض ابتعادك عن المسار المضبوط، تبعاً لارتفاع الكوكب للقاس كل ليلة. يبدأ بعد فترة كذا من اتباع المسار إرم البلد (أي اسير عمق البحر)».

وهكذا نرى أن مفهوم النقطة الحديث لم يكن ملائماً بسبب نقص المستندات الدقيقة: الخرائط وآلات القياس، والأزياج. لقد أوصل ابن ماجد، بالرغم من ذلك، فاسكو دو غاما، عن طريق البحر، من ماليندي إلى كاليكوت (بالقرب من موقع ماهي، المحطة التجارية الفرنسية القديمة) بعد رحلة دامت ثلاثة وعشرين يوماً.

### خامساً: مصادر الدراسة الخاصة بعلم الملاحة العربي

لقد وضحتنا أعلاه أن هذه الدراسة لا تهدف إلى عرض تفصيلي للمعارف العربية في الملاحة، بل إلى تلمخيص تجارب ملاحين عربيين. لقد جرت هذه التجارب في القسمين الشمالي والغربي من المحيط الهندي - وتعدى ميدانها هذه المنطقة بالنسبة إلى ابن ماجد - خلال الفترة الممتدة بين سنة ١٤٥٠ وسنة ١٥٥٠ ميلادية. وقد اعترف ابن ماجد نفسه، وهو أبرز الذين تمكنوا من هذه المعارف، بنسبية هذه الأخيرة. ونصح مواطنيه في المحيط

الهندي، وذلك نتيجة لتعاونه مع البرتغاليين على الأرجح، باتباع مدرسة الفرنجة التي بدأ يأتي منها العلم والفن في الملاحية.

كان الجانب التقني من هذه التجارب مبنياً بشكل أساسي على الملاحظة والاختبار والتطبيق العملي. وقد عرضت هذه التجارب بالتفصيل في عدة مخطوطات محررة بين سنة ١٤٦٠ وسنة ١٥٥٠ تقريباً. ولقد حصلنا على نسخات من هذه المخطوطات الأصلية، واستخلصنا منها أكثر الشروحات التي تشكل مادة هذا المقال.

كان ابن ماجد والمهري كلاهما رباتين. وصل الأول إلى قمة فنه سنة ١٤٩٦ (رحلة فاسكو دو غاما التي ربما كان ابن ماجد قائدها) وعاش اقتحام البرتغاليين لـ «البحيرة العربية». أما المهري فهو تلميذ للأول. وقد توفي، وفقاً لمختلف الفرضيات، بين سنة ١٥١١ وسنة ١٥٥٤ ميلادية، لذلك يصعب تعيين تاريخ مؤلفاته وخاصة أن بعض هذه المؤلفات يتضمن استشهادات لبعضها الآخر.

## ١ - المخطوطات المستخدمة

لقد استندنا على ثلاث مخطوطات:

- نسخة عن المخطوطة ذات الرقم ٩٩٢ لابن ماجد (من ٨٢<sup>٤</sup> إلى ١٠٦<sup>٤</sup>)، الدراسات الشرقية لأكاديمية العلوم في بطرسبرج.

- المخطوطة ذات الرقم ٢٢٩٢ في المكتبة الوطنية في باريس؛ وهي تحوي مؤلفات لابن ماجد.

- المخطوطة ذات الرقم ٢٥٥٩ في المكتبة الوطنية في باريس؛ وهي تحوي مؤلفات لابن ماجد وللمهري.

ليست هذه المخطوطات إلا نسخات عن مخطوطات أخرى أصلية. وهي تتضمن بعض الفروقات فيما بينها (عندما تكون المقارنة ممكنة بين نصين). وقد ذكرت فيها أسماء كتب ما زالت مجهولة حتى اليوم.

## ٢ - مصنفات أخرى لعلم الملاحية العربي

كان المحيط الهندي ميداناً للقاءات المتكررة وللتعاون والتبادل أيضاً، بين البحارة. لذلك فإن حدود «المعارف العربية» في الملاحية غير واضحة بالدرجة التي يتمناها المرء: هل يكون قسم مهم من هذه المعارف مأخوذاً عن البحارة الصينيين؟ هل استعانت المؤلفات البرتغالية للملاحية، الكثيرة في القرن السادس عشر، جزئياً بما تركه ابن ماجد ومعاصروه؟ ويمكن أن نقول أيضاً إن علم الملاحية يتجاوز المعصور ويسمو فوق التبعيات. إنه كنز

مشترك مأخوذ عن الأسلاف والمتنافسين تنميه كل الأجيال. لكن تفوق البحارة العرب، في المحيط الهندي طيلة عدة قرون، يعزز في هذا العلم مكانة المعارف التي نقلها ابن ماجد والمهري.

ونلاحظ من ناحية أخرى أن أغلب مؤلفي الكتب، المنشورة باللغة العربية في القرن العاشر، من أصل أجنبي. وتشير كتب الملاحة العربية بنفسها إلى الاختلافات بين العرب والهموزيين والهندود... وكانت كتب الفلك للسماة بكتب السند معروفة في بلاد الأندلس قبل زمن ماركوپولو. وقد أشار هذا الأخير إلى طرائق البحارة في الشرق الأقصى وإلى الوثائق التي كانت بحوزتهم. كما كانت هناك خرافات صينية وجاوية.

وهكذا يتوجب علينا أن نقارن بين الكتب الملاحة العربية وكثير من الكتب الملاحة الأخرى. لقد استفاد البرتغاليون من كل هذه المراجع التي وجدوها، وأغنها بملاحظاتهم الخاصة: «هناك أكثر من ٤٧٠٠ وثيقة كتبت كلها تقريباً باللغة البرتغالية، خلال الفترة القصيرة الممتدة من سنة ١٥٣٨م إلى سنة ١٥٥٢م، ولم تزل بمجملة غير منشورة» (وهذا النص مأخوذ من كتاب ج. أوبين: بعض الملاحظات حول دراسة المحيط الهندي خلال القرن السادس عشر).

وهكذا يجب أن تركز دراسة تعليمات ابن ماجد والمهري على المقابلة بين مجموعة من النصوص المكتوبة في أزمنة مختلفة.

### ٣ - مناقشة المراجع

سنقوم فيما يلي بشرح تعليمات ابن ماجد والمهري. وسيتضمن شرحنا في بعض الأحيان تساؤلات حول أصالة المخطوطات، أي حول مطابقتها للنسخات الأصلية. لذلك يجب علينا في أول الأمر أن نحل مشكلة المصطلحات اللغوية.

لقد حررت هذه التعليمات بعبارات كثيرة الغموض حسب رأينا، مع أن هذه العبارات أكثر دقة من بعض المصطلحات المستخدمة حالياً. وقد حافظت بعض المصطلحات على نفس المدلول قديماً وحديثاً بفضل ثبات اللغة العربية عبر العصور. فكلمة «الجروش» لم يتغير مدلولها قديماً وحديثاً. وكذلك هي الحال بالنسبة إلى كلمة «الدامن». والأمثلة على الغموض في معاني المصطلحات كثيرة، فاليمين واليسار، مثلاً، يدلان على الاتجاه نفسه في بعض الحالات.

ولكن كيف يجب أن نقرأ ما كتبه ابن ماجد والمهري؟ وإلى أي حد يتوجب على القارئ المجرب أن يشكك بما يؤكدان؟ وقد يساعد التعرف على شخصيتي المؤلفين وعلى أعمالهما (لدينا لهما أكثر من أربعين من المؤلفات المتنوعة) في اتخاذ موقف من هذه القضية. ونشير بهذا الصدد إلى التحاليل المفصلة التي أنجزها ج. فرزند (G. Ferrand)



وإبراهيم خوري، وج. تيبس (G. Tibbets)<sup>(١)</sup>.

ينجذب القارئ البحار، في بادئ الأمر، بأسلوب المهري التعليمي الواضح البسيط، بينما يظهر ابن ماجد مديحاً مضطرباً. لكن التحقق العلمي من أقوال الكاتبين وتعود ابن ماجد على ممارسة الملاحة يقودان القارئ، بعد ذلك، إلى النتيجة: لقد جاب ابن ماجد البحار أكثر بكثير مما فعل منافسه ابن المهري. ويمكن عندئذ أن يظهر لنا هذا الأخير كحكيم مندفع بحب الاطلاع على المسائل البحرية، لكنه ملاح رديء. أما ابن ماجد، فقد يظهر لنا بمظهر «المقبطان ماريوس» المشهور بحديثه الدائم عن مغامرات بحرية لم يقم بها، لكنه بالتأكيد بحار ممتاز.

إن هذه الكتب، المفصصة كما يبدو لتكوين الربانة، تضع القارئ أمام صعوبات عديدة، إذ يجد فيها، على سبيل المثال، قصائد يلمح فيها الكاتب بشكل غير واضح إلى التعليمات الملاحية. ويترك الكاتب للقارئ الحخير الحاد الذهن مسألة التكهّن بالبقية.

وقد تساعد الاجتهادات في التفسير، من ناحية أخرى، في إغناء البحوث اللازمة لتقرير أصالة بعض النصوص، إذ نجد في السقالية مثلاً، وهي اسم أحد النصوص الملاحية الثلاثة الموجودة في المخطوطة ذات الرقم ٩٩٢، بعض الفقرات التي تبدو مزورة، وذلك بسبب أغلاط ملاحية فاحشة لا يمكن أن يكون ابن ماجد قد ارتكبها، ولا يمكن أن تعزى إلى سهر من قبل الناسخ. وهناك نصوص أخرى تظهر فيها محاولات عمالة لـ «تقليد ابن ماجد».

ونلاحظ أخيراً أن ابن ماجد، وهو الحخير التقليدي، يبقى صامتاً حول نظرية العرض المستخرج من الزاوية الزوالية (مع أنه يشير إلى جداول الميول الزاوية). أما المهري فهو يعرض بمهارة هذه النقطة، ولكنه ينسى أن يعدل صيغة الارتفاعات لتلائم المناطق الجنوبية: وهذا يدل على أنه لم يتجاوز خط الاستواء، مما يفسر بعض النتائج التي قدمها.

إن دراسة أعمال ابن ماجد والمهري تؤدي بنا إلى التساؤل حول موضع الحد الفاصل بين العلم والتجريبية. لقد قام ابن ماجد، وهو البحار التجريبي التقليدي، بتجارب حقيقية خلال فترة طويلة من الزمن. فهل يجب أن نضع هذين الربانيين في مصاف رجال العلم؟ يمكننا بالتأكيد أن نعطي المهري صفة العالم المهتم بالمسائل الملاحية. أما ابن ماجد، فهو الحرفي التقليدي الذي بلغ قمة فنه، على الرغم من الميول المؤكدة التي اعتورت شخصيته.

---

(١) انظر للمراجع في بداية الفصل.

## سادساً: وسائل الملاحة العربية

لن نقوم هنا بعرض كامل لعلم الملاحة العربي، بل بمحاولة تقدم جزئي في معرفة هذا العلم. وسوف يقتصر عرضنا في أغلب الأحيان على تخمينات، لأن نواقص هذا العلم نفسه كثيرة، وهو يخلو من التماسك العام.

ويجدر بنا أن لا نتخيل للملاحين العرب، وابن ماجد خاصة، يتصرفون كضباط البحرية الحديث المكلف بقياس مواقع الإشارات والنجوم، حتى ولو كان ذلك بالدقة النسبية التي كانت ممكنة في عصرهم، وينقل القياسات على شكل مثلث على خريطة لتعديل الموضع المقدّر للسفينة.

لقد استفاد ابن ماجد من تجارته الخاصة ومن تجارب من سبقه، فمارس ما يمكن وصفه بـ «التقدير المحسن». لم تكن الخرائط مستخدمة على الأرجح إلا كموجزات للمسافات بين الأماكن الأرضية، وللانجهايات العامة للسواحل وللمواقع المرافء. والسبب هو أنها لم تكن تسمح بأحسن من ذلك. وكانت ارتفاعات النجوم تساعد على تحديد موضع السفينة في منطقة معينة. وكان تحديد «التقدير» يتم بفضل «التعليمات الملاحية» وبفضل خبرة وحسن الريان. إن ثبات الرياح في المحيط الهندي وانتظام الرياح الموسمية فيه وسائل الحسنة الأخرى المذكورة آنفاً تزيد من فائدة التخمين الجيد لقوى وانجهايات الرياح والتيارات.

### ١ - القياسات المستخدمة

ما هي وسائل القياس التي كان يستخدمها العرب في عالم لم يكن قد حظي بالتأثير الموحد الذي أحدثه النظام المترى في مختلف العلوم؟ لقد استعملوا بشكل أساسي الأصابع والأزوام والترفات. وكما هي الحال في العصر الحديث، كان قياس الارتفاع يسمح بتحديد المسافة، وكانت الأزوام والترفات تحدد بالنسبة إلى الأصابع. لكن مفهوم وحدة القياس الثابتة لم يكن مألوفاً في الأذهان في ذلك العصر. وهما ما شكل عقبة كبرى. ولقد زاد من أهمية هذه العقبة فقدان آلات القياس ذات الدقة الكافية، مما أعاق تبني منهج علمي حقيقي. ولكن أهمية ثبات وحدة القياس ليست في الواقع إلا نسبية، إذ إن قيم التغيرات التي تطرأ عليها لا تتعدى دقة الأرصاد.

### ١ - الأصابع والذئبان

كانت الأصابع تقاس بواسطة «الحشبات» (انظر الفقرة ٣ - الآلات ضمن هذا القسم

من هذا الفصل) التي كانت تسمح بقياس أقصى لا يتعدى 12 إصبعاً، أي ما يعادل 20 درجة. وهكذا لم يكن بالإمكان إلا قياس الارتفاعات المنخفضة.

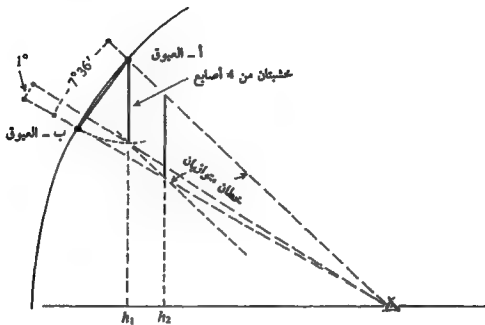
وقد تم استخدام الإصبع والشبر والذراع والقدم... كوحدة لقياس الطول من قبل العديد من المجموعات الإنسانية. ولكن ليس قياس «الأصابع»، وهي الزوايا الشديدة الدقة، على لوحات مهياة بواسطة السكين، عملية صعبة التحقيق؟ إذ قد تصل قيم بعض الارتفاعات الدقيقة إلى أقل من 20 دقيقة (والحالات التي تقل فيها هذه القيم عن 5 دقائق ليست نادرة).

وهكذا يتم اللجوء إلى القياس اليدوي الذي يسمح بتعريف الذبان، وهو معيار تقريبي، يساوي زاوية تغطي بأربعة أصابع (كان البحارة في عصر ابن ماجد يستطيعون بالتأكيد الحصول على معيار الأصابع الأربعة بواسطة دوران النجم القطبي - لو كان قطره لا يتغير مع الزمن - وعلى كل حال كان يمكن الحصول على نظام للمراجع ثابت في السماء، إذ إن المسافات الزاوية بين أغلب النجوم تبقى ثابتة طيلة عدة قرون).

وردت كلمة الذبان كإسم لنجم يرى في نصف الكرة الأرضية الجنوبي، وكإسم لنجم آخر هو أ - العيوق (أي النجم الأكثر إضاءة في مجموعة العيوق). وهذا الأخير هو نجم ابن ماجد المفضل. يقول ابن ماجد: «العيوق... له ذبان على شرقه وجنوب الذبان نجم على قدره يسمى ذبان الذبان». وتفصل هذين النجمين عن بعضهما مسافة أربعة أصابع.

ولكن ابن ماجد لم يشر أبداً بوضوح، إلى مقاييس الخشبات. وذلك بعكس المهري الذي قال ما معناه: إن خشبة الذبان القياسية توافق المسافة بين أ - العيوق والذبان عندما تكون هذه الأخيرة في أوجها في برج الأسد. أما الخشبات الأخرى فيجب تقسيمها حسب هذا المعيار لكي تكون صحيحة. إن الذبان وحدة قياس زاوية، لذلك هي تضمن نتائج أصح من تلك التي نحصل عليها بالقياس اليدوي.

تساوي المسافة الزاوية بين أ - العيوق وب - العيوق  $36^{\circ} 7'$ ، أما المسافة الزاوية بين ب - العيوق وج - العيوق فهي  $42^{\circ} 7'$ . ونلاحظ عدم وجود مثل لقياسات دقيقة بواسطة الخشبات، إلا لنجوم موجودة في مستوي عمودي عند بلوغها ارتفاعاً معيناً. ونلاحظ أيضاً أن أ - العيوق وب - العيوق موجودتان في بلاد المهري في مستوي عمودي على ارتفاع يقارب  $30^{\circ}$ . لذلك فإن قيمة الذبان محددة بشكل جيد وتساوي أربعة أصابع، حسب رأي



الشكل رقم (٧ - ٢)

(ملاحظة: النسب بين الأطوال مبالغ بها في هذا الشكل).

المهري على الأقل. وتبلغ هذه القيمة إذا قيست بواسطة الحشبات  $5^{\circ}40'$  (انظر الشكل رقم (٧ - ٢)). وهي تنقص بمقدار درجة واحدة تقريباً عن القيمة الحقيقية (التي تبلغ  $7^{\circ}36'$ ). وهذا يعني أن طول اللزوا ينقص من  $h_1$  إلى  $h_2$ . ولقد قمنا بإدخال عدد من التعديلات على قيم الزوايا الزوالية (كما أوردها ابن ماجد) لبعض النجوم وذلك رغبة في الوضوح والوصول إلى معادلة بين الأصابع. ولقد أخذنا بعين الاعتبار، وفقاً للطرق الحديثة، الانكسار (تغيير اتجاه الأشعة عند اجتيازها لطبقات الجو)، والارتفاع الحقيقي (ارتفاع نقطة الرصد فوق البحر يؤثر على القيمة المقاسة لارتفاع النجم)، والنجم القطبي (النجم القطبي لا يوجد في اتجاه الشمال الحقيقي، والارتفاع الحقيقي للنجم القطبي مع الزاوية الزوالية يسمح بحساب عرض المكان). تمكّن هذه النتائج الحسابية من وضع «جدول الأصابع» التالي:

عدد الأصابع	القيم	التورق	تكرار القنود	القيم الحقيقية لارتفاع النجم القطبي من غاؤ دم	الصحيح القطبي	ارتفاع النجم القطبي
1	2°54'	1°39'	20'	2°34'	3°31,8	6°05,8
2	4°33'	1°44,5	15'	4°18	3°31,8	7°49,8
3	6°17,5	1°37,5	12'6	6°04,5	3°31,8	9°36,7
4	7°55	1°30	11'	7°44	3°31,8	11°15,8
5	9°25	1°42,5	10,2	9°14,8	3°31,8	12°46,6
6	11°07,5	1°42,8	9,3	10°58,2	3°31,8	14°30
7	12°49,8	1°30,5	8,6	12°41,2	3°31,8	16°13
8	14°20,3	1°25,6	8,1	14°12,2	3°31,8	17°44
9	15°45,9	1°29,8	7,7	15°38,2	3°31,8	19°10
10	17°15,7	1°44,6	7,5	17°08,2	3°31,8	20°44
11	19°00,3	1°22,5	7,1	18°53,2	3°31,8	22°25
12	20°22,8		6,7	20°16,2	3°31,8	23°48

الجدول رقم (٧ - ١)

يقيم الأصابع بالدرجات مع العروض (أو ارتفاعات النجم القطبي) الموافقة لها.

لقد استغلنا أرصاد النجوم التي أوردتها ابن ماجد، وتركنا جانباً الأرصاد غير المؤكدة التي أوردتها المهري بالرغم من المزايا العلمية لهذا الأخير (إلا عند توافقها مع أرصاد ابن ماجد).

إن هذا الجدول نتيجة لعدد كبير من المقابلات بين الزوايا الزوالية لنجم القطب الشمالي خاصة ولنجم القطب الجنوبي ولنجم أ - النهر (السلبار)، ولبضعة نجوم أخرى مزوجة ومعتبرة شبه زوالية. إن معدل القيم بين الدرجة الثانية والدرجة الثانية عشرة يساوي 1°36' وهو العدد الذي أعطاه البرتغاليون. أما الكبير الزائد للإصبع الأول فيمكن إرجاعه إلى عدم وضوح الأفق ليلاً، إذ إنه يدفع إلى المبالغة في رفع الخشبات فوق الأفق، للتمكن من التمييز جيداً بين الأفق والقسم الأسفل من الخشبات. وتبدو هذه الفرضية مؤكدة، إذ إن القياسات الخاصة بالنجوم المزوجة الكبيرة الجنوبية، تزيد عن القيم الحقيقية بشكل مفرط

(بمقدار يصل إلى الدرجة في بعض الأحيان). إن الارتفاعات الكبيرة لهذه النجوم لا تسمح بقياسها بواسطة الطريقة الزوالية، وذلك أنه ينبغي قياس السهيل والمعدل، حسب قول ابن ماجد، في الإقليم الأول الشمالي، في ضوء القمر، وفقاً للترتيبات الخاصة بنجوم الجنوب. إن وضوح خط الأفق في ضوء القمر يجنب بالفعل الإفراط في رفع الخشبات، وبالتالي المبالغة في قيمة الارتفاع.

يفاجأ القارئ العصري بعدم تساوي الأصابع في هذا الجدول، ولكن العرب في ذلك العصر لم يطرحوا للبحث قضية اختلاف الأصابع في القيمة. وقد يسمح التحليل الدقيق للتصحيح بعض قيم الارتفاعات فقط، ولكنه لا يسمح بتصحيحها كلها، لذلك فضلنا عدم إدخاله في هذه الدراسة خوفاً من إثقالها دون رفع قيمتها.

## ب - الأزوام

الزام هو الوحدة التي كانت مستخدمة في حساب المسافات المقدرة. وقد عرفه المهري بشكل واضح: «الزام على قسمين عرفي واصطلاحي. فالعرفي هو قطع جزء من ثمانية أجزاء من مسافة يوم وليلة. والاصطلاحي هو قطع جزء من ثمانية أجزاء من مسافة ارتفاع كوكب أو انحطاطه إصباعاً بجزءك إليه أو عنه فرضاً أو استعمالاً...».

ويصف المهري، في نص آخر، الزام المقاس بأنه «حقى» (وهذا صحيح إذا تم القياس باتجاه خط الزوال، والمهري كان على الأرجح واعياً لذلك؛ أما ابن ماجد فكان يعتقد في بداية تجربته أن القياس صحيح مهما كانت قيمة زاوية سمت النجم، شريطة أن يكون النجم في اتجاه محور السفينة، وهذا غير صحيح رياضياً). ويوضح المهري أن الزام العرفي يتطلب رياحاً ثابتة ذات قوة متوسطة، ولكنه لا يشير إلى «الزام الجامع» الذي يتحدث عنه ابن ماجد بكثرة، وخاصة على الشكل التالي بما معناه: القيمة الصحيحة للزام الجامع تفوق قيمة زام الطرقات ومقدار المسافة المقطوعة فعلياً. وهذا ما يجعلنا نشك بصحة بعض المسافات المقدرة.

أراد ابن ماجد أن يعرف «الزام الجامع» كوحدة قياسية، فهو يقول ما معناه: هذا هو عدد الأزوام في مدة ثلاث ساعات من الملاحة العادية؛ وعلى القارئ أن يعد له عند اللزوم.

وهكذا نرى أن «الزام الجامع» قريب من «الزام العرفي» الذي تكلم عنه ابن المهري، ولا سيما أن ابن ماجد يميز أيضاً بين الزام الطويل والزام القصير، مع العلم أن الزام الطويل يتحقق عندما يكون البحر تام الهدوء ومن دون تيارات.

ولكن استخدام ابن ماجد لهذه العبارات عند كلامه عن بعض المناطق وفقاً للأقاليم الحاوية لها، هو الأقل توقفاً منه.

يربط ابن ماجد في مقطع ورد في فوية اللوائب بين تغيرات ارتفاعات بعض النجوم وهذه المسافات (التي هي من القروض أن تقاس بواسطة الرصد الفلكي، بعيداً عن خط الزوال، وهذا ما يفرض الحصول على مركبة في الطول<sup>(1)</sup>). يقول ابن ماجد في هذا المقطع ما معناه: إن المسافة المقدرة للخن الأول طويلة... لا نحسبها من هدماني إلى ملوك (من) 2°35' إلى 1°50' شمالاً في جزر المالديف) كما حسبتها من باب المندب إلى الزقر، أو كما حسبتها من موروتي إلى براوة (الصومال الشرقية).

توجد اختلافات كبيرة بين المسارات المذكورة أعلاه. فأقصر مسار بينها موجود في الصومال، حيث تهب الرياح الموسمية الندية المنتظمة من الشمال الشرقي، مع تيار قوي دافع. هذه الرياح موجودة طيلة فترة طويلة من السنة تصلح خلالها الملاحة في تلك المنطقة. أما المراكب الشراعية فتبحر جميعها في بداية الرياح الموسمية الجنوبية الغربية لأنها تكون خفيفة، فتجنب التعرض لها عندما تصبح عنيفة فيما بعد.

ولقد زاد تعدد المسارات المذكورة من قبل المؤلفين من الغموض في تعريف وحدة القياس. يقول ابن ماجد مثلاً ما معناه: من نقطة معينة في الصومال إلى عدن هناك 20 زاماً، أو أقل من ذلك أحياناً إذا كان الطقس صافياً وكانت الرياح الموسمية شرقية.

وهذا ما يبين أن المسافات لم تكن تقاس بالضرورة بين الخط العمودي لنقطة الانطلاق والخط العمودي لنقطة الوصول. ولم يكن لذلك تأثير سلبي على قياس المسارات الطويلة، بل إن ذلك يقدم لنا في بعض الأحيان تفسيراً لقيم السرعة التي تتعدى الحد المعقول في بعض المسارات القصيرة.

تتحدث المخطوطات الثلاث: الدرية (وهي غير مؤرخة) والذهبية والحلوة، بطريقة مشابهة لما سبق، عن المسافات المقاسة بالزمامات المتغيرة (غير المقبولة كما نعرف لأنها لا تأخذ بعين الاعتبار إلا تغير العرض). لقد كتب ابن ماجد الحلوة في بدء عهده بالمهنة، وتكلم عن كبر سنه في بداية الدرية. فهل استمر في ارتكاب نفس الغلطة طوال ممارسته للمهنة؟ ولم يفهم العلاقة التي تربط الارتفاع بالطول؟

إن العلاقة بين المسافة والوقت نسبية، ولكن هذا لا يقلل من احتمال كون الزام النظري الموافق لثمان الإصبع، مساوياً حسب تقديرنا لاثنتي عشرة عقدة.

أما المهري فقد حدد «القيمة الرياضية للزام»، بالنسبة إلى الإصبع، قائلاً ما معناه: إن علماء الفلك يعرفون جيداً أن دورة النجم القطبي (التي هي عيار مساوٍ لأربعة أصابع بالنسبة إلى البحارة) تساوي 6 درجات و 7/6 الدرجة (وهذه القيمة صحيحة لسنة 1505م). لذلك فالإصبع يساوي درجة واحدة و 5/7 الدرجة، والدرجة تعادل ثلثي الزام. وهذا ما يعطي قيمة مقبولة للزام الواحد تساوي 12,82 عقدة.

### ج - الترفات (والانحرافات)

الترفة هي المسافة التي ينبغي قطعها في زمن معين لكي تتغير قيمة الزاوية الزوالية بمقدار أصح واحد.

هنا أيضاً نجد أنفسنا أمام مفهوم غير مقبول، وهو مفهوم الوحدة ذات القياس النسبي. لكن هذا المفهوم كان يبدو طبيعياً في ذلك العصر في بيئة الملاحين التي تعودت الاعتماد فقط على ملاحظة المعطيات المحسوسة بعيداً عن التجريد.

وكانت الترفات تصنف حسب ميلها بالنسبة إلى خط الزوال، أي حسب اتجاه السفينة: الترفات الأقل ميلاً (من زمن واحد إلى خمسة أختان) كانت تسمى الروحيات، أما الأخرى فكانت تسمى الصقاقات. ولقد ذكرها ابن ماجد على الأخص عند كلامه عن الطرقات البحرية ذات الاتجاهات القريبة من الغرب أو من الشرق (أي عند كلامه عن القيمة المشكوك بصحتها للمسافة المقدرة لبعض الاتجاهات) فقال ما معناه: تقديرات الروحيات أفضل، وخاصة إذا تلامت مع الرصد، أما بالنسبة إلى الصقاقات، فالارتفاعات وحدها هي الأفضل. وهذا ما هو منطقي بشكل كافٍ بسبب عدم جدوى رصد الزاوية الزوالية عندما ينحرف الاتجاه نحو الشرق أو نحو الغرب.

نذكر أيضاً المناكب («الانحرافات» و«المائلات»، أو الوجهات الموجودة بين الوجهات الرئيسة المتعارف عليها في أوروبا) التي تمثل المسافات بين خط الزوال والنقط الموجودة في اتجاه الشرق أو الغرب.

لقد جمعنا في جدول الترفات الوارد أدناه قيم المسافات المقدرة التي وجدناها مبشرة في مؤلفات ابن ماجد والمهري:

الحزن	القيمة الصحيحة	القيمة القديمة	ابن ماجد	القيمة الواردة في «الصحفة»	القيمة الواردة في «شرح الصحفة»	لمهري
القطب	٨	٨	٨	٨	٨	٨
الأول	٨,١٦	١٠	١٠	٩	٩,٦	١٠
الثاني	٨,٦٥	١٢	١٢	١٠	١١,٤	١٢
الثالث	٩,٦٢	١٤	١٤	١١	١٣,٤	١٤
الرابع	١١,٣٢	١٦	١٦ إلى ١٦	١٢	١٦	١٦
الخامس	١٤,٤	١٨ إلى ٢٠	١٨ إلى ٢٠	٢٠	٢٠	٢٠

يتبع



تابع	٢٠،٩	٢٢ إلى ٢٥	٢١ إلى ٢٥	٢٠	٣٥	٢٤
السادس	٤١	٤٠ إلى ٤٠	٣٠ إلى ٤٠	٣٥	٤٢	٤٠
السابع	٨٣	٣٠ إلى ٥٠	٤٠ إلى ٥٠	٦٦	٧٢	٩
بين السابع والثامن	لا نهاية	٤٠ إلى ٦٠	٥٠ إلى ٦٤	لا نهاية	لا نهاية	لا نهاية
الثامن						

الجدول رقم (٧ - ٢)  
الترقات (للحسوبة بالأزوام).

كنا نتوقع أن تتضح في هذا الجدول دون التباس رؤى هذين المؤلفين النظرية للأشياء. غير أننا نفاجاً بالقيمة المحدودة المعطاة للترقات باتجاه الشرق أو الغرب، إذ إنها لا نهاية.

لقد رأينا أهلاه أننا لا يمكن أن نؤرخ بدقة مؤلفات المهري، وبالتالي لا يمكن أن نحكم على كيفية تطور تجربته. وهو يكتفي غالباً برواية المعلومات المأخوذة عن مختلف البحارة دون أن يتحقق من صحتها. وقد عرض في شرح الصفحة أرقام المدارس المختلفة، بما فيها تلك الخاصة ببخارة كورومندل (الشاطئ الشرقي للهند). وهذه الأرقام تقريبية مع أنها تستند حسب ما يقول على ربع الدائرة المهمل من قِبَل البحارة.

وكان قد صحح الأرقام الخاصة بالأختان الأربعة الأولى، مقدماً إياها على شكل كسور تقريبية، ومستخدم طريقة أرباع الجيب. نستنتج من هذا الجدول أن القيم الخاصة بالأختان الأربعة الأولى هي الأقل خطأً فيه. ولكن مقارنة أرقام هذا الجدول بأرقام بخارة كورومندل، تظهر بعدها الواضح عن الصحة، فيما عدا الرقم الخاص بالخن السابع (والمهري لا يعطي أي قيمة للخن الذي يليه). ولا يمكن أن نضع على عاتق النساخين وحدهم مسؤولية تراكم هذه الأخطاء، بل نؤكد بأن خبرة المهري العلمية (مع أنها خبرة حقيقية في المسائل البحرية الأخرى) لم تكن من حل هذه المسألة البسيطة، وذلك على الرغم من أنه بنى على الأرض دائرة للرياح لتوضيح هذه المسألة، وجعل الأشخاص يسيرون على الأختان المرسومة مادياً.

## ٢ - الخرائط

لم تشر المخطوطات إلا بوضوح كلمات إلى الأزياج وإلى استخدام الخرائط التي لم تذكر أبداً في النص، وقد ضاعت بأكملها، ولكن البرتغاليين قد رأوا بعضها). وكان البحارة يجوبون المحيط الهندي، حول سنة ١٥٠٠م، دون استخدام الخرائط ودون

استخدام الأرياح، بل كانوا يعتمدون على تقويم تقريبي وعلى تعليمات بحرية كثيرة، بالإضافة إلى تجاربهم الخاصة.

وقد لا تكون للخرائط، على الأرجح، أية فائدة بالنسبة إليهم في تحديد موضع السفينة. وذلك لأن الخطأ الممكن ارتكابه في قياس المسافات بين السواحل أكبر من الخطأ الممكن ارتكابه في تقدير الموضع بعد تصحيحه وفقاً للأرصاء الفلكية.

تشكل مخطوطات ابن ماجد والمهري نماذج عن التعليمات الملاحية التي كان البحارة يستخدمونها في ذلك العصر. وهي تعطي للمسافات البحرية (مخطوطات ابن ماجد تعطي المسافات الأرضية أيضاً) الموافقة للارتفاعات المختلفة المقاسة بالأصابع. فإذا استخدمنا قيم هذه المسافات لتحديد مواضع الأمكنة على الخريطة بالنسبة إلى خط الزوال الأولي، نجد توافقاً حسناً مع الطرق الساحلية (وهذه ظاهرة مدهشة نظراً للفوارق بين قيم الاتجاهات الواردة في هذه المخطوطات وبين قيمها الحقيقية)، بينما نجد أحياناً بعض التناقض في التفاصيل بخصوص منطقة معينة كـ «خليج البربر» مثلاً. والخريطة على الشكل رقم (٧) - (٣) التالية تسمح بمقارنة رسم السواحل المأخوذ من مؤلفات ابن ماجد والمهري مع الرسم الحقيقي.

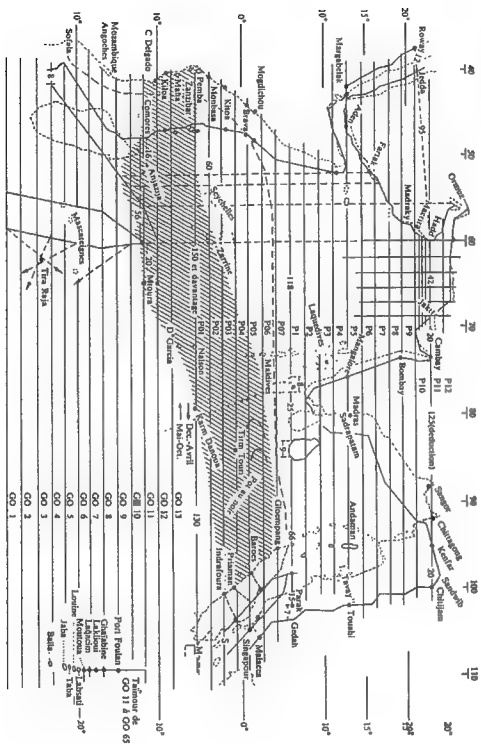
لقد رتب المهري المسافات بشكل منطقي، وهذا ما فعله ابن ماجد من حين لآخر. وفي بعض الأحيان يتم عمل أحدهما عمل الآخر، مع بعض التضارب في النتائج عندما يدرسان نفس المناطق البحرية. لم يكن من السهل تنسيق كل شيء. وأحسن مثال على ذلك يخص ارتفاع خمسة أصابع للنجم القطبي بين برغملة بالقرب من عساب وتواحي في برمانيا.

تظهر الأخطاء في حسابات العرض، على الخريطة، المناطق التي كانت مجهولة من قبل العرب. نذكر من هذه المناطق، أولاً، أستراليا (تيمور) المرسومة على شكل خط عمودي في موضعٍ مفترض (دون إشارة إلى المسافات) تم تعيينه أحياناً في زمن غير بعيد نسبياً.

أما جزيرة مدغشقر فقد رسمت على شكلين. يظهر أحدهما الشاطئ الغربي فقط، وقد رسمه ابن ماجد.

يبدأ الغموض في الشرق الأقصى بعد ملقّة مباشرة. فالشاطئ الغربي لسوقطرة يتضمن أخطاء هامة. والفارق بين الموقع الذي حدده المهري لجزيرة لاسوند (La Sonde) وبين الموقع الذي أعطاه ابن ماجد لنفس المكان يبلغ إصبعين. أما بالي فهي مرسومة دائماً غرب جاوا.

والغموض موجود أيضاً، ولكن بدرجة أقل، شمال الخط الواصل بين سيلان ونيكوبار. وذلك لأن قلّة من العرب ترتاد البنغال وسيام وشرق الهند، كما يقول ابن ماجد.



الشكل رقم (٧ - ٤)

أما وجود الجزيرة الخرافية ترم توري والغموض الخاص بجزر السيشيل وجزر السكراني، فيمكن تفسيره لأن المراكب الشراعية لم تجرؤ أبداً على الدخول فيما يسمى بـ «الوعاء الأسود». ألا تشهد الإزاحة في الطول، على الخريطة، التي تعرضت لها كُزُم دُنُو (أو ديوا) كما تعرض لها شرق إفريقيا، على الهجرات الحديثة نسيباً للإندونيسيين؟

وقد صحح ابن ماجد في كتابه قبلة الإسلام بعض المفاهيم التي كانت راجعة في عصره. إن التحقق من الاتجاهات التي اعتمدها يثبت صحة عناصر الخريطة الواردة في الصفحة التالية (إلا بالنسبة إلى الأماكن البعيدة عن البحر وبالنسبة إلى مدغشقر ذات الشاطئ المقروط في الامتداد).

وهكذا نرى أن هذه الخرائط كانت متضمنة لأخطاء جسيمة. ولم تذكر المخطوطات شيئاً عن الاستخدام الفعلي لهذه الخرائط في البحر. ويبدو أن الجغرافيين العرب كانوا يجهلون كل شيء عن خرائط البحارة هذه. ونحن نعرف هذه الخرائط بكونها خرائط بحارة لا خرائط بحرية. فقد رسمها أناس بسطاء. ولكن يجب الاعتراف بفضلها، على الرغم من عيوبها. وذلك أن وجودها تحت تصرف البحارة في ذلك العصر الذي سبق انتشار الخرائط الإيبيرية، كان يعطيهم صورة تقريبية عن المناطق التي كانوا يتجولون فيها، بدلاً من الاعتماد فقط على التقاليد المتنقلة فيما بينهم.

### ٣ - الآلات

#### أ - البوصلة (وانحراف الإبرة)

ما زال البحارة في العصر الحديث يستعملون البوصلة، المسماة بالبيكار (compass) من قبل البحارة الفرنسيين وغيرهم، إلى جانب الأجهزة اللاسلكية. وذلك عند وجودهم بعيداً عن الإشارات الساحلية التي تمكن من تحديد الاتجاه. وقد وردت كلمة بيكار بهذا المفهوم بقلم ابن ماجد عند كلامه عن بحارة البحر الأبيض المتوسط.

يعتبر وجود الإبرة المغنطة داخل وعاء مؤكداً في ذلك العصر، مع أن لا أحد يستطيع توضيح التركيب الحقيقي لثل هذا الجهاز (الذي كان يسمى أيضاً «الحُقَّة»). ولكن هناك نقطتان تسترعيان الانتباه:

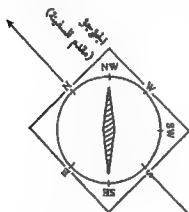
(١) لقد استخدمت كلمة سمكة بمعنى الإبرة ولكنها لم ترد في النصوص إلا مرتين.

(٢) يمكننا أن نتكهن بوجود حاملة لهذا الجهاز مع ركيزة على محور، مستدين بذلك على فقرة (ولكنها وحيدة) من شرح لنواقص الحقة. هذه النواقص ناتجة، تبعاً لهذه الفقرة، عن ثقل دائرة الرياح وعن عدم جودة قبتها. ولكن كيف يمكن الإبرة أن تطفو بحرية دون

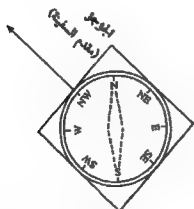
أن تصطدم بجوانب الوعاء، إذا لم يكن لها ركيزة على محور؟ وكيف لا نجد إشارة إلى وجود وعاء عند الحديث عن نواقص اليكار؟ إن البحار يفهم دون تردد أن بطء الإبرة في تعديل اتجاهها ناتج عن ضعف القوة الموجهة للإبرة عندما تتمايل السفينة بسرعة أو عندما تنحرف وتغير اتجاهها.

ويساعد استعمال شعلة من قماش، نهاراً، على تثبيت اتجاه السفينة. فالشعلة تدل على الاتجاه النسبي للرياح، وهذا ما يسمح بتحديد اتجاه السفينة بالنسبة إليه.

وإذا فرضنا وجود إبرة تستند، بواسطة حاملية، على محور داخل وعاء، كيف يتم الاستدلال على اتجاه السفينة؟ يمكننا تصور الجهاز في إحدى الحالتين البسيطتين التاليين:



الشكل (٧ - ١٤)



الشكل رقم (٧ - ٤ ب)

(أ) يكون الوعاء الحاروي للجهاز مثبتاً على السفينة ومدججاً بالاتجاه المعاكس. فإذا كانت السفينة موجهة نحو الشمال الغربي (انظر الشكل رقم (٧ - ١٤))، تكون تدريجة الشمال الغربي على يمين تدريجة الشمال، وتكون الإبرة موجهة نحوها.

(ب) تكون دائرة الرياح مدرجة بالأخنان، ومحمولة من قبل الإبرة، أي أن الإبرة ودائرة الرياح ثابتتان الواحدة بالنسبة إلى الأخرى. وتوجد على الوعاء، الذي يمكن أن لا يكون مدوراً، علامة واحدة كافية للدلالة على مقدمة السفينة (أو على خط الثقة). وتوجد، مقابل هذه العلامة تقريباً، على دائرة الرياح، تدريجة تدل على وجهة السفينة (انظر الشكل رقم (٧ - ٤ ب)).

إن الحالة (ب) هي الأكثر ملاءمة من الناحية العملية، لأن مدير دفة السفينة يقرأ أمامه بشكل دائم ويطريقة شبه لا شعورية اتجاه السفينة، بينما يضطر في الحالة (أ) إلى

مراقبة وضع رأس الإبرة المتغير مع اتجاه السفينة، مما يقلل من سهولة المحافظة على هذا الأخير.

ولكن شكل جهاز دفة السفينة مشابه للحالة (أ). فهل وجدت الحالتان السابقتان في ذلك العصر؟ قد يفسر الجواب، إيجاباً عن هذا السؤال، استخدام النصوص دون تمييز للكلمات الثلاث: الحقبة (أي الوعاء الحاوي للجهاز) وبيت الإبرة (أي موضع الإبرة) والدائرة (أي دائرة الرياح).

وأخيراً تبقى مسألة إضاءة البوصلة. لا شك أن إشعال النفط كان يتم في بعض الاحتفالات، عند الوصول إلى نيكوبار الكبرى مثلاً: «... أضرب النفط واتشر العلم». ولكن هل كان هناك قنديل مجهز بنظام وإقي مناسب لإضاءة الحقبة؟

أما انحراف اتجاه الإبرة فيتأثر من تأثير الحديد والفولاذ على الحقبة. يتغير هذا الانحراف مع تغير اتجاه السفينة. ويضاف «الحدور المغنطيسي» (الناتج عن الحقل المغنطيسي الأرضي غير المرتبط باتجاه السفينة) إلى هذا الانحراف للحصول على «التغير» الكامل لاتجاه الإبرة.

ولقد حذر ابن ماجد والمهري من الأخطاء التي قد ترتكب عند تقدير اتجاه السفينة بواسطة الإبرة (الانسياق مع التيار... الخ) وشرحا هذه الأخطاء بكثرة. ولكننا بحثنا دون جدوى عن تعريف واضح لانحراف الإبرة في مؤلفاتهما. ونحن ننساءل، بعد قراءة مقطعين لابن ماجد: هل فطن ربابين السفن إلى وجود ظاهرة غير قابلة للتفسير تؤثر على اتجاه الإبرة؟ يتحدث ابن ماجد في المقطع الأول عن «السمكة» التي هي الإبرة قائلاً ما معناه: إن الطريق ليست مغلوبة إلا ب... أو بسبب فساد الوعاء الحاوي للإبرة. أما في المقطع الثاني فيقول: «يحبس المعلم (الربان) أنه يجري في مجرى (معين) ولكنه يجري في غيره من قلة معرفته أو من فساد حقبة أو سمكة مضروبة بحجر فرقدي...» (الفرقد هو اسم الدب الأصفر).

أما المهري فهو أقل غموضاً، إذ يقول ما معناه: قد تدل بعض دائرات الرياح على وجهة العرش، أي على الشمال - الشمال الغربي.

إننا، في الواقع، نتحقق من وجود طرقات بحرية، نصبح بها رجال ذوو ثقة، نقود إلى المرفأ المقصود (إلا إذا وقع خطأ في التنفيذ). فلماذا نقلق لأن الإبرة لا تدل على اتجاه الشمال الصحيح؟ وهل فطن إلى ذلك كثير من الاختصاصيين في ذلك العصر؟

## ب - الخشبات

لقد ظهرت، خلال النصف الأول من القرن السادس عشر على وجه التقريب، تقنيتان لقياس ارتفاع نجم ما:

- قياس الزاوية الفاصلة بين اتجاه النظر إلى الأفق واتجاه النظر إلى النجم .

- وضع علامة للنجم على خشبة عمودية (أو عدة خشبات) مدرجة بـ «الأصابع» بحيث يتطابق طرفها الأسفل مع خط الأفق .

لقد أعفينا القارئ غير المطلع على الشؤون البحرية من سرد مختلف الترتيبات التي يجب اتخاذها للتصويب الصحيح بعين واحدة على الأفق وعلى النجم، في آن واحد . سنكتفي بتذكيره بأهمية الصعوبات المتعلقة بعدم ثبات السفينة المتواصل، وبعدم الثبات النسبي ليد الذي يمسك بألة القياس: يجب التصويب بسرعة على أهداف (نقط أو خطوط) غير واضحة أحياناً . نقول باختصار إن القياسات الإلكترونية فقط هي التي تؤمن القياسات الدقيقة . أما الخشبات، وحتى السدسية فهي لا تضمن الحصول على القيم الصحيحة للارتفاعات . إن مهارة مدير الآلة هي التي تخفف من عدم دقة القياسات .

هل نستطيع بعد هذا التذكير، استناداً على النصوص الموجودة لدينا، أن نبين الدرجة النسبية لانتشار استعمال الأجهزة المدرجة (كالربعية والأسطرلاب) في زمن ابن ماجد والمهري؟ (يقصد بكلمة الخشبات، أو الخُشْب أو الخُشْب، وهي جمع خشبة، جهاز قياس الارتفاع الفاصل بين نجم ما والأفق . والكلمة بالمفرد كانت تستخدم غالباً عندما تكون ارتفاعات عدة نجوم متساوية: «في خشبة واحدة»).

إن تضارب آراء الشراح المعاصرين يدفعنا إلى كثير من الحذر عند تحليل النصوص الخاصة باستعمال الخشبات .

تكلم بَرُوس (Barros) عن آلات حربية غير معروفة (من بينها ربعية) تستعمل لقياس ارتفاع الشمس . هل فعل ذلك حياً بنشر الأخبار المثيرة، أم أنه لفق هذا الخبر قبل أن يعترف بعد ذلك بقليل بأنه لم يستخدم بنفسه إلا الخشبات؟ لقد فعل يُلبي (Celebi) بشكل مماثل في كتاب المحيط (الذي هو ترجمة مع شرح لبعض مؤلفات ابن ماجد والمهري) المكتوب باللغة التركية سنة ١٥٥٣م . ترجم هذا الكتاب هامر بورغستال (Hammer-Purgstall) إلى الألمانية، ومنها ترجم إلى الإنكليزية من قبل برنيس (Prinsep) . وأضاف هذا الأخير إلى ترجمته شرحاً لوصف آلات القياس . وعرض ثلبي بالتفصيل مميزات التدرجيات الخاصة بجهاز من خشب له خيط مدرج رخو - تبعاً لما ذكره المهري .

ولقد تكلم المهري، هو الآخر، عن الاستخدام المتزامن للتقنيتين قائلاً: «... قياس الجزء (أي بواسطة جهاز ذي تقسيمات على قوس دائري) لا يختلف في كثرة ارتفاع الكواكب بخلاف قياس اليد (أي بواسطة الخشبات)» . (والمهري هو الوحيد الذي يستخدم كلمة «حطيات» بدلاً من «خشبات».) إنه يلمح في المقطع نفسه إلى وجود أجهزة شبيهة بالأسطرلاب تستخدم الخط العمودي الحقيقي للمكان كخط مرجعي . وما يقوله المهري، عن القياسات التي أنجزت كما نعلم على اليابسة، يتفق مع المنطق بشكل بدوي .

تكلم المهري بعد ذلك عن جهاز له خيط قائلاً: «كلما وقعت اليد إلى فوق ارتخى الخيط الذي في القياس بسبب قرب الخطبة من العين، فيضيق القياس».

كيف يمكن للخيط أن يرتخي مع العلم أن وظيفته هي أن يكون مشدوداً؟ ولقد سألتنا إبراهيم خوري حول هذا الموضوع فرأى ضرورة تصور الخيط كخيط خيالي أو كخط نظري.

لنستعرض الآن على كل حال ما تعلمنا من ابن ماجد ومن المهري حول الخشبات، أي حول هذه التقنية التي كانت الأكثر استخداماً في عصرهما - إذ لم تكن الوحيدة - كما يبدو لنا. لقد تحدثنا قليلاً عن هذه التقنية، فماذا قالوا على وجه التحديد؟

(١) «... شرط قياسات الخشبات الأربع الكبار أن تكون ضيقة، والأربع المتوسطات (أن تكون) عادية، (وأن يكون) بين النجم والخشبة خيط، والماء كذلك خيط كحد السكين يراه الذي يقيس. وشرط الخشبات الصغار أن تكون نفاس (ضيقات)».

(٢) «... تجعل النجم المقاس عن النجم الذي يلقي وجهك سبعة أحنان كالجاه (وجهة الشمال) والثرى، وتكون الخشبات الكبار ضيقات القياس ومد بها يدك ما استطعت، والأربع الصغار نفيسات قصر بها يدك ما استطعت، والأربع المتوسطات عادية القياس، وذلك لانساع ذيل الألق وانكفاف أهل الألق».

(٣) «... أحسن القياس ما كان معتدل الخشبات لا كبيرة ولا صغيرة».

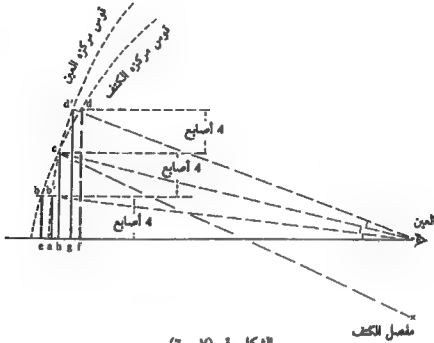


الشكل رقم (٧ - ٥)

وهكذا يمكن أن نتأكد، حسب ما سبق، من وجود ثلاث مجموعات من الخشبات متزايدة في عرضها بمقدار أربعة أصابع، بحيث تكون كل مجموعة لوحة متماسكة ومرتبطة كما نرى في الشكل رقم (٧ - ٥) على سبيل المثال (مع أننا نجهل الترتيب الحقيقي لهذه



اللوحة). كان من الممكن أن نخطط الأصابع بألوان متناوبة خامقة وفاتحة، بدلاً من التدرجات السلمية. كما يمكن أن نتصور تقسيم اللوحات إلى أصابع وحتى إلى أجزاء الأصابع لتسهيل قراءة القياسات.



الشكل رقم (٧ - ٦)

نعرض في الشكل رقم (٧ - ٦) شرحاً لكيفية عمل الجهاز. كان من الأمل أن تكون اللوحات الثلاث متلاصقة لكي تشكل لوحة كبيرة مقسومة إلى ثلاثة أقسام متلاصقة، كل قسم منها مساوٍ لأربعة أصابع وموجود على مقطع دائري مركزه في عين الراصد، وأن نجسد الأوتار  $ab$  (الخشببات الصغيرة) و  $bc$  (الخشببات المتوسطة) و  $cd$  (الخشببات الكبيرة). ولكن هذا الترتيب مستخدم في الرقعة وفي الأسطراب، ولا يستخدم هنا. والسبب هو أن كل خشبة كانت تمسك من طرفها العلوي. وهكذا نستطيع تلخيص المسألة الواجب حلها كما يلي: قياس، بواسطة اللوحات ذات الأربعة والثمانية والاثني عشر إصبعاً، للزوايا  $ab'$  و  $ac'$  و  $ad'$  ذات الرؤوس المتطابقة مع المعين والتي تفرق عن بعضها بمقدار أربعة أصابع، وإذا كان الذراع عموداً بشكل ثابت، ترسم اليد القوس  $bod$ ، وهو قوس دائري مركزه الكتف. لذلك فإن الأصابع الأربعة الموجودة على الشكل غير مناسبة. لنفرض إذاً أن المسألة محولة إذا أخذنا  $c$  كنقطة انطلاق، وهي رابعة الخشببات المتوسطة (الموافقة لثمانية أصابع)، وذلك عندما يكون الذراع ممدوداً بشكل طبيعي. ولنرسم على مسافتين مساويتين لأربعة أصابع وثمانية أصابع خطين موازيين للأفق. أما رابعة الخشببات الصغيرة (أي ذات الأصابع الأربعة) فهي تقطع القوس الذي مركزه العين في النقطة  $a'$ ، بينما تقطع رابعة الخشببات الكبيرة نفس القوس في النقطة  $d'$ . لذلك

ينبغي وضع الطرف العلوي للخشبة الأولى في النقطة 'b' ووضع الخشبة الثانية في النقطة 'd'. أما الذراع فقد تمدد من 'f' إلى 'g' وتقلص من 'e' إلى 'a'.

#### ٤ - الآلات الأخرى

لقد رأينا أعلاه كيف أشار مؤلفنا إلى استعمال آلات أخرى غير الخشبات لقياس ارتفاعات النجوم.

إن افترض وجود آلة ذات خيط لا يتعارض غمماً مع الحقيقة. فقد تأكد ظهور آلة من نوع «كمال» حوالي سنة ١٥٤٠م، فيها خيط يستعمل بالطبع لقياس ظل زاوية الارتفاع وبالتالي لقياس الارتفاع.

لقد لاحظ تيبس (Tibbets) منذ سنة ١٩٧١ أن ابن ماجد والمهري لم يتحدثا أبداً عن الـ «كمال» أو عن الـ «كمال»، مع أن الكثير من الباحثين يعتقدون بأنه كان مستعملاً في عصرهما. وما يزيد في هذا الاعتقاد ما نراه من ميل ابن ماجد إلى استخدام كلمات التفصيل مثل «الكمالان»، وهذا ما يشكل مصدراً للأغلاط. يقول ابن ماجد مثلاً حول تجاوز جزر القالات (جمع فال) (Les Laquedives)، إن هذا الشجور يجب ألا يتم، في بعض أوقات السنة بعيداً عنها. وذلك بسبب ضرورات تتعلق بالفصول. يقول ابن ماجد ما معناه: لا تدع النجم القطبي الشمالي يهبط بل اتجه شمالاً (عند الحاجة)، إذ يجب عدم الابتعاد (كثيراً نحو الجنوب) بمقدار ثلاثة كمالات.

إن كلمة كمالان غامضة، ولقد استخدمها ابن ماجد آنفاً في مؤلفاته الشعرية. ولكن التعبير عن قيمة قوية أو ضعيفة، لا يتم عادة بهذه الطريقة.

أما «الأسطرلاب» بالمعنى الخاص للكلمة، فقد أكد البعض أن البحارة العرب قد استعملوه. وحجتهم في ذلك هي إشارة إلى ارتفاع وحيد «قيس بواسطة الأسطرلاب» وقيمته مساوية لعدد صحيح من الدرجات. لقد أشار ابن ماجد إلى إحداثيات بالدرجات، ولكنه أخذها من كتب جغرافية. أما المهري فقد أعطى بعض الارتفاعات المأخوذة بواسطة «آلة ذات تقسيمات». ولكن العدد الكبير، المقدر بالآلاف، للارتفاعات المقاسة بالأصابع بواسطة الخشبات، يظهر بوضوح أن الأسطرلاب لم يكن آلة القياس الشائعة في ذلك العصر.

أما «الربعية» (وهي عبارة عن دائرة أو قسم من دائرة مقسمة إلى أجزاء متساوية) فهي من بين الآلات التي أشارت إليها النصوص.

## ٥ - التقويم

تخضع النشاطات الملاحية لتبديل الفصول، وذلك في البحار التي تتبع نظاماً فصلياً واضحاً، وهذا شيء بديهي. ولكن كيف يمكن تحديد اليوم الأول من السنة الشمسية، إذا علمنا أن النجوم تغير مجراها بالنسبة إلى الشمس، بسبب حركة مبادرة الاعتدالين؟

لقد جابهت الإنسانية، في مسألة وضع التقويم، صعوبات مهمة، ولم تكتشف حلاً مقبولاً لها إلا في الإصلاح الغريغوري، الذي حصل في أواخر القرن السادس عشر. فكيف كان موقف البحارة في المحيط الهندي قبل قرن من هذا التاريخ؟

يبدأ اليوم الأول من الثيروز (أو التوروز أو الثيروز، وهو التقويم الذي كان متبعاً من قبل البحارة في المحيط الهندي)، تبعاً للحسابات الواردة في المخطوطات البحرية، عند ظهور منزل الإكليل (في برج الميزان) مع طلوع الفجر، بميل زاوي مساوٍ لـ 15 درجة. وكان هذا اليوم، الأول من الثيروز، يقع في العشرين من تشرين الثاني/ نوفمبر الحالي.

تبدأ هنا الصعوبات الخاصة بتعريف تقويم لا يتغير. وذلك أن الثيروز يتضمن 365 يوماً كاملاً. ويتقدم اليوم الأول من الثيروز بمقدار ثلاثة أشهر تقريباً خلال أربعة قرون (وهذا ما كتبه الفلكيون العرب حول القرن العاشر). إن المدى الكبير لهذا التقدم يجعل التحرك الناتج عن حركة مبادرة الاعتدالين غير ذي أهمية. استخدم هذا الثيروز المفرط في قصره في عصر ابن ماجد، وما زال مستخدماً حتى اليوم في المحيط الهندي (مع أنه يختلف من منطقة إلى أخرى ولم يعد يستند على منزل الإكليل).

والصعوبة التالية تكمن في تغير ظهور نجم ما تبعاً لارتفاعه ولبه الزاوي، وكان ابن ماجد واعياً لهذه الظاهرة. وهو يقول إن «أصحاب المولات الكبرى» في علم الفلك حددوا بشكل رياضي منظم كل بزوغ شروقي وكل أفول غربي، دون أخذ الميل الزاوي لكل نجم بعين الاعتبار، كما لو كانوا يرصدون على خط الاستواء مع أنهم كانوا فوق الدرجة 25 شمالاً. ولقد نقلت أقوالهم الخاصة بمنازل القمر اليومية بكاملها تقريباً إلى المخطوطات البحرية.

كانت النجمة (أ) التابعة لبرج الميزان تظهر فعلاً، في العشرين من تشرين الثاني/ نوفمبر تقريباً في أواخر القرن الخامس عشر، للراصد الموجود على خط العرض البالغ 15 درجة. وهناك احتمال كبير أن يكون ابن ماجد، وهو الملاح المتخصص باستمرار للعبة السماوية، قد لاحظ ذلك. إن تطابق ذلك، بخطأ يقل عن عشرة أيام، مع المسلمات الشائعة في القرن العاشر، جعل ابن ماجد يخفف من أهمية هذه الظاهرة، إذ قال ما معناه: هناك ما يحمل بعضهم على القول بأن أوقات الأسفار تتأخر درجة كل سنة. ولكن المهري يرى، بخلاف ابن ماجد أن أوقات الأسفار تتغير بمقدار ربع يوم في السنة، وهذا ما يعطي برهاناً جديداً على الاختلاف بين طبايعهما.

كيف كان يتصرف البحارة في ذلك العصر في مواجهة الصعوبات الناجمة عن عدم انتظام هذا التقويم المرتكز على موقع نجمة؟ لنأخذ بعين الاعتبار الميراث القضي (الذي أهمل بسرعة من قبل البحارة المعاصرين)، من ناحية، والممارسة النشيطة للاجتماعات الدراسية بين قواد السفن، من ناحية أخرى. هذه الاجتماعات التي كانت تجري على السفن أو عند السماورة كانت تسمح بتبادل المعلومات المختلفة. كل هذا يسمح بالتكهّن بوجود إجماع، حول سنة ١٤٥٠م، للابحار من مناطق معينة نحو مناطق أخرى في أوقات معينة محسوبة، تبعاً للتيروز، باختلافات مساوية دائماً لعشرة أيام، ومساوية نادراً لخمس أيام. ولقد أجريت شيئاً فشيئاً تصحيحات بمقادير تتراوح بين خمسة أو عشرة أيام على الأوقات السابقة، وذلك بعد سنين من التجارب التي تمت على خطوط بحرية محددة، وبعد مقارنة النتائج في تلك اللقاءات التي جرت تحت سلطة بعض الربابنة المشهورين. وقد تمت في النهاية مراجعات إجمالية، لتلك الأوقات، توصلت إلى يومنا هذا.

وكانت أوقات الأسفار هذه تتبع أوقات الرياح الموسمية، حتى إن كلمة المواسم كانت تدل على أوقات الأسفار.

إن تقسيم السنة إلى فترات مختلفة تبعاً للرياح المميزة لها يحصل بالاستناد على التيزوز. ولكن تعداد أوقات الأسفار الناتجة عن هذا التقسيم يبقى معقداً. يأخذ المخطط التالي بعين الاعتبار العديد من المناخات المحلية التي قد تسبب انكماشاً في هذا المخطط والتي قد تؤدي حتى إلى إلغاء «غلق البحر». بالإضافة إلى ذلك، قد يرد الكلام في بعض النصوص عن ربح غير متناسبة مع المكان والزمان، ولكن فهم مثل تلك المقاطع مرتبط بالمعنى المحلي للمصطلحات المستخدمة.

إن فترة «غلق البحر» هي فترة التوقف عن الملاحة، ولمْ شَمَلْ المائلة إذا أمكن، في الميناء الذي تجهز فيه السفينة. تهب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية من بداية حزيران/يونيو حتى منتصف آب/أغسطس. ونحن نجد على الخرائط الفصلية الحالية أحد الخطوط المنحنية التي تبين اتجاهات الرياح التي تهب في شهر تموز/يوليو في شرق سقطرة. وهو خط ذو شكل متطاوّل يحدد المنطقة (التي يسميها البحارة الفرنسيون «قرن اللوياء») التي تشتد فيها الرياح والتي يجب أن تتجنبها السفن الخفيفة القوة المتجهة نحو الغرب. تسمى فترة الرياح الموسمية الجنوبية الغربية، وكذلك الرياح نفسها، الكُوس (وكلمة «دبور»، أو «دبور»، تدل على المعنى نفسه، ولكنها تطلق في أكثر الأحيان على الرياح نفسها).

ويبدأ الموسم الكبير، بعد نهاية فترة الغلق، في فترة آب/أغسطس - أيلول/سبتمبر التي تخلو من سوء الأحوال الجوية في كل المناطق. ويتضمن الموسم الكبير نهاية فترة الرياح الجنوبية الغربية («الدماي» أو «الديماي») السهلة الاستخدام، وكل فترة الرياح الشمالية الشرقية («أزيب» أو «صبا») الممتدة من تشرين الأول/أكتوبر إلى نيسان/إبريل، وأخيراً فترة الرياح الجنوبية الغربية المسماة «أول الكوس» أو «رأس الكوس» أو «آخر الموسم الكبير».

ويدل آخر الكوس على نهاية فترة الريح السهلة الاستخدام، أي على النهاية القصرى للموسم.

## ٦ - التعليمات البحرية

تدل عبارة التعليمات البحرية في العصر الحديث على الوثيقة الأساسية، في مكتبة البحار، الجامعة لكل المعلومات المفيدة في الملاحة وغير المرتبطة بالخرائط وبما هو قابل للقياس. أما كتابات ابن ماجد والمهري فهي مصنفات جامعة للتعليمات والنصائح الموجهة إلى البحارة. وهي تشكل، مع الأدوات الموصوفة أعلاه ومع التجارب الخاصة للبحارة، الوسائل الوحيدة المستخدمة في الملاحة.

وهكذا سيشكل القسم التالي عرضاً مركزاً على أهم المسائل الملاحية وعلى خلاصة التعليمات الملاحية التي كانت تحت تصرف الملاحين العرب في المحيط الهندي خلال القرن السادس عشر.

### سابعاً: تقنيات تحديد الموقع في البحر تبعاً للتقدير وللرصد الفلكي

إن تحديد موقع السفينة، أو تقدير هذا الموقع في البحر إذا أردنا الكلام بمزيد من الدقة (أو «القطع» حسب تعبير ابن ماجد)، مرتبط بالसार المقدر أولاً والمصحح ثانياً عند أول مناسبة ممكنة، بواسطة قياس ارتفاعات نجوم معروفة وقابلة للرصد. يتم ذلك استناداً إلى التعليمات الملاحية وإلى تجربة ضابط الملاحة.

إن ما يهم ضابط الملاحة هو تقدير اتجاه السفينة وسرعتها الحقيقية وارتفاعات النجوم. وكما رأينا سابقاً، كانت المسافات تحسب بالزمامات. لذلك، فإن أهم المقاطع في غخطوط ابن ماجد والمهري، بالنسبة إلى البحار، تخص دقة الاتجاه وارتفاعات النجوم.

لنذكر أيضاً بأن الميقت (الكرونومتر)، وهو آلة قياس الوقت التي تعمل مهما كان المناخ ولمدة طويلة، لم يصبح سلعة تجارية إلا منذ مئة وخمسين سنة. لذلك لم يكن باستطاعة البحار قبل ذلك الزمن إلا قياس العرض فقط. لقد كانت هناك بالتأكيد طرائق تستخدم التثليث وتمكن دون استعمال الميقت بالحصول على قيمة تقريبية لطول موقع مرفأ مهم. ولكن هذه الطرق لم تكن تسمح أبداً بتحديد طول موضع السفينة.

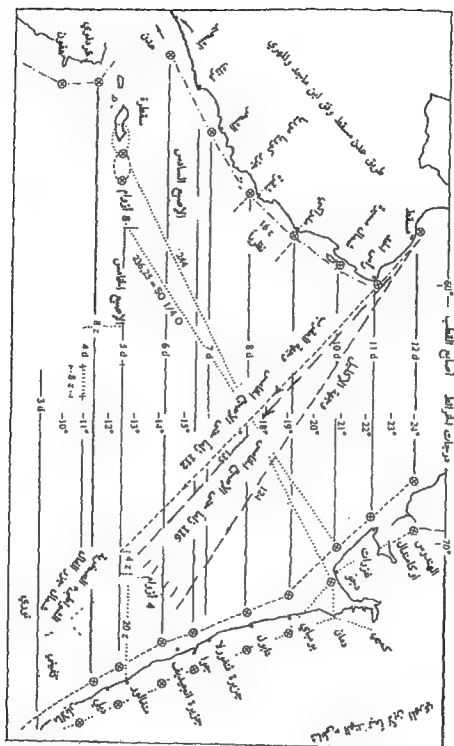
إننا نخضع بكلانا الملاحة العربية التي كانت تحصل بشكل رئيس بين شواطئ وجهتها إجمالاً نحو الشمال. لذلك فإن معرفة قيمة تقريبية للطول، في هذه الحالة، كافية ودون ضرر يذكر. ولكن تحقيق التنسيق بين العرض المرصود وبين الطول المقدر يتطلب كثيراً من المهارة التقنية.

## ١ - دقة اتجاه السفينة

إلى أي درجة من الدقة كان يتم التحكم في اتجاهات السفن على المسارات الطويلة؟ إن الجواب عن هذا السؤال مرتبط بالمسائل العملية.

كان أصغر جزء على دائرة رياح، من بين دوائر الرياح الباقية في المحيط الهندي، يزيد على درجتين، بينما لا تستطيع السفن العصرية المجهزة حسب التقنيات الحديثة حفظ الاتجاه بخطأ يقل عن نصف درجة. أما ابن ماجد فقد تكلم عن ملاحه على مسار بحري طويل حفظ فيها الاتجاه بخطأ لا يزيد عن ربع الخن، أي ما ينقص قليلاً عن ثلاث درجات. ولقد عدد أنواع الطرقات البحرية، فهي ساحلية، ومباشرة في عرض البحر، واستنتاجية (بالمقارنة مع طريق آخر صحته مفروضة). شك ابن ماجد في قيم المسافات المقدرة التي قبلها «القدماء» إذ قال ما معناه: تبحر سفينة باتجاه العقرب (الجنوب الشرقي) من مسقط ورأس الحد إلى أن تصل إلى مسافة أربعة أزوام شمال شواطئ جزر الفالات (انظر الشكل رقم ٧ - ٧). وتبحر سفينة ثانية باتجاه يوجد بين العقرب (الجنوب الشرقي) والإكليل على بعد أربعة أسباع الخن من الإكليل (كثيراً ما يلجأ ابن ماجد إلى هذه التقريبات)، فتصل إلى شواطئ الفالات بعد مسار طوله سبع ترفات. ولذلك تكون السفينة الثانية قد قطعت  $28/7$  زاماً أكثر مما قطعت السفينة الأولى... وهكذا يظهر أن عدد الترفات مغلوط... لأن المسافتين متساويتان وقيمتها المشتركة هي 117 زاماً..

إن هذا المقطع غامض ولكننا سنورد فيما يلي شرحنا له نظراً لأهميته. إن اتجاه العقرب (الجنوب الشرقي) يوصل السفينة فعلاً إلى مسافة أربعة أزوام من شاطئ جزر الفالات (التي نعرف عرضها المساوي لخمس أسباع كما نعرف أن عرض مسقط يساوي 12 إصباعاً). أما اتجاه السفينة الثانية فهو على بعد  $6/8$  (وليس كما قرر ابن ماجد بشكل تقريبي) الخن من الإكليل. ولكننا سنحفظ بالرقم  $5/7$ . تساوي المسافة التي قطعتها السفينة الأولى ستة عشر زاماً وتساوي المسافة التي قطعتها السفينة الثانية ثمانية عشر زاماً، أي يفارق قدره زامان، مع العلم أن السفيتين قد اجتازتا سبع ترفات. ولكي يحصل ابن ماجد على قيمة المسافة الإضافية التي قطعتها السفينة الثانية نراه يحسب نسبة 2 إلى 7 فيكون معه  $28/7 = 2 \times 7 \times 2$  أي 4 أزوام.



الشكل رقم (٧ - ٧)

ويمكن التحقق من ذلك بسهولة إذا فرضنا أن المسافة الإضافية التي قطعتها السفينة الثانية تعادل خُثْنين، ثم طرحنا خمسة أضعافها من قيمة مسار السفينة الثانية  $2 = 16 - 18$  و  $10 = 5/7 \times 7 \times 2$  و  $116 = 126 - 10$ ؛ أو أضفنا إلى قيمة مسار السفينة الأولى (أي 112) سبعة 14 (أي 4) فنحصل على 116.

يبقى علينا الآن أن نفسر كيفية الحصول على الرقم 117 وهو القيمة المشتركة للمسارين تبعاً للنص. ولكن قيمة المسافة الأولى تساوي بلا ريب  $116 = 4 + 112$  كما أظهر ذلك الحساب السابق. هل هذا ناتج عن خطأ من قبل الناسخ الذي قد كتب 7 بدلاً من 96 على كل حال إن برهان ابن ماجد صحيح بخطأ يساوي زاماً واحداً.

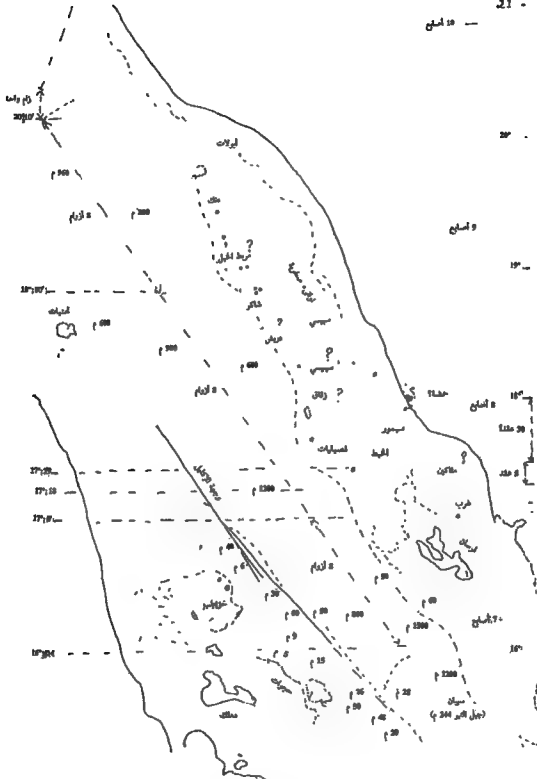
لنلاحظ أخيراً ما يلي: لم يكن أحد من الربانة يجرؤ على توجيه سفينته نحو شاطئ الفالات، هذا الشاطئ الهائل القليل العمق والمحجوب وراء أعماق بحرية صعبة الاجتياز. لقد غرق هناك ريان برتغالي بسفينته ويمن فيها خلال سفرته الثانية. ولكن ابن ماجد لم يجلّز أبداً من هذه الأخطار.

لقد تحدث المهري أيضاً عن أحماس الأخنان في ظروف مشابهة لما رأينا أعلاه، ولكن هذين الربانين لم يشيرا إلى أكثر من أربعة أمثلة من هذا النوع. لذلك يصعب التأكد، استناداً إلى هذه الحجج، من استخدام أقسام الأخنان في الملاحة على الطرق البحرية في المحيطات.

يمكننا، مقابل ذلك، أن نذكر مثلاً عن الملاحة في بحر مغلق، مأخوذاً عن ابن ماجد، يؤكد فيه هذا الأخير أن الملاحة كانت تتم فيه حسب أرباع الأخنان، أي أن اتجاه السفينة كان يحفظ بخطأ لا يزيد على ربع الحن. كان يحدث ذلك، تبعاً لابن ماجد، في البحر الأحمر على الطرق البحرية المختلفة التي تقطع البحر الأحمر من جدة باتجاه الجنوب وتنتهي في سيبان (أو جبل تير). يبلغ علو هذا الجبل ٢٤٥ متراً، وهو يشرف على كل المنطقة المحيطة به، والبحر من حوله ذو قاع جناري (انظر الشكل رقم (٧ - ٨)).

إن أوصفة الشواطئ الصخرية في البحر الأحمر تدخل بعيداً في البحر، بحيث يكون قاعه كثير العمق من جهة الساحل العربي، وقليل العمق من جهة الساحل المقابل.





الشكل رقم (٧ - ٨)

مأخوذ من «التأقية».

ولكن البحارة مع ذلك يفضلون، عند اجتيازهم للبحر الأحمر باتجاه الشمال، الرسو على الشواطئ العربية. وذلك لأن المناطق الصخرية تظهر فيها مساء بشكل أوضح بفضل شمس الأصيل حتى لو كانت أشعتها أفقية. وبالإضافة إلى ذلك، إن الرياح التي تدفع السفن شمالاً تخضع غالباً لانعكاسات في اتجاهاتها، بينما تكون الرياح الدافعة جنوباً أقل تقلباً في اتجاهاتها (هل هذا هو السبب الذي جعل ابن ماجد يعطي الكثير من ارتفاعات النجوم على الطرق البحرية التي تجتاز البحر الأحمر باتجاه الشمال، بينما لا يعطي إلا نادراً ارتفاعات النجوم على الطرق البحرية التي تجتاز هذا البحر باتجاه الجنوب؟).

تصل بعض هذه الطرق البحرية إلى غرب سييان. ولكن السير عليها يتطلب حذراً شديداً بعد مسافة ٣٠٠ عقلة من جدة، أي بعد اجتياز خط العرض المساوي لـ ١7 درجة تقريباً (أي ما يعادل سبعة أصابع ونصف الإصبع من النجم القطبي). ولكن كيف يتغير الطول على هذه الطرق؟ (الخريطة على الشكل رقم (٧ - ٨) تظهر الأعماق القابلة للبلد (أي للسبر) حول دهلك حيث لا يمكن تمييز إلا بعض الصخور المتناثرة المنخفضة والمغطاة غالباً بالرمل ونادراً بالعليق). فإذا أظهر البلد أن السفينة قد انحرفت غرباً، علماً بأن السفينة تسير باتجاه الحمارين، ينصح ابن ماجد أن يبقى العمق متراوحاً بين ٢٤ و ٣٥ متراً... وذلك بالليل نحو وجهة المقرب بمقدار ربع أو ثلث أو نصف الفخن حسب الحاجة. وتؤمن هذه العملية السير بعيداً عن المناطق القليلة العمق.

وهكذا كانت السفن تسير نحو الجنوب متجنباً أخطار الساحل العربي، ومستدلة بالأعماق القابلة للبلد دون رؤية أية إشارة في حويطب أو في حجوات. وكان الربانية، بعد ذلك، يستخدمون كل براعتهم للاستدلال على إشارة سييان المتميزة، قبل مجابهة أخطار الجنوب الأخرى.

والخلاصة هي أننا رأينا مثلاً لطريق بحرية نظرية توصل إلى شواطئ جزر الفال الصخرية التي تخيف البحارة، ومثلاً آخر للترتيبات الدقيقة التي يجب إتخاذها للملاحة في البحر الأحمر. كل هذا يعزز فكرة وجود ترتيب لجهاز الإبرة في عصر ابن ماجد، يسمح بالملاحة حسب أرباع الأختان.

## ٢ - ارتفاعات النجوم

اعتمد نظام الملاحة العربي على التقدير، وكان التحقق من موضع السفينة يتم، بشكل عام، بالاستناد إلى ارتفاعات النجوم الواردة في كتب «التعليمات البحرية». لذلك احتل

حساب ارتفاعات النجوم مكاناً مهماً في المخطوطات البحرية العربية التي أظهرت براعة العرب فيه.

## أ - ملاحظات أولية

يبدو مناسباً أن نشدد على النقاط الأربع التالية:

(١) كانت إحدائيات النجوم على فلك البروج معروفة بثباتها، وهي كذلك على وجه التقريب. أما الإحدائيات الاستوائية للنجوم، وهي الإحدائيات الوحيدة الصالحة لرصد العرض، فهي غير ثابتة، ولكنها تتغير ببطء (بمقدار ١٥ دقيقة تقريباً في أربعين سنة). وهذا ما يفسر عدم ملاحظة هذا التغير من قبل البحارة في ذلك العصر.

(٢) لم يستخدم البحارة العرب إلا النجوم نظراً لثباتها. وكانت خبرة هؤلاء البحارة الموثوقين المتمرسين كافية (وكانت الذاكرة الحارقة التي يتمتع بها كل الناس البسطاء الدالامي الاحتكاك بالطبيعة، تسعفهم عند فقدان كراس) للملاحة على الخطوط البحرية البعيدة المدى، بمجرد تعيين مواقع بعض النجوم.

(٣) إن الأزياج الحالية التي يستخدمها البحارة ما زالت تحسب حتى اليوم، على الرغم من المتطلبات العلمية، في نظام مرجعي مركزي أرضي (إذ إن الحسابات فيه مختزلة كثيراً). وهكذا يمكننا بسهولة إعادة تشكيل الطرائق التي كان يستخدمها البحارة الأقدمون.

(٤) يجب أن نأخذ بعين الاعتبار، عند تفحص قياسات ارتفاعات النجوم التي أنجزت في أواسط القرن السادس عشر، عدم الدقة النسبية لألات القياس وعدم ثبات الأرضيات التي توضع عليها هذه الآلات وفقدان التصحيحات الضرورية التي يجب إدخالها على هذه القياسات (انكسار الضوء، ... الخ).

يجب علينا، لكي نفهم عقلية هؤلاء البحارة في ممارستهم للملاحة في أعالي البحار، أن نتصور التجريبية الكبيرة التي كانت تلازم الوسائل البسيطة التي كانت تحت تصرفهم (ما زال الإسبانويون حتى اليوم يطلقون كلمة (el pratico) أي للمجرب على الريان المسؤول عن قيادة السفينة في الأماكن الحساسة).

## ب - الارتفاعات المزدوجة

كانت «الخشبات»، في عصر ابن ماجد، الألة الوحيدة الشائعة الاستعمال. وكانت تسمح بقياسات لا تتعدى ١٢ إصباعاً ولا تقل عن ثلاثة أصابع (لقد كشف البحارة عن وجود تأثيرات غير عادية ناتجة عن انكسار الضوء عند قياس الارتفاعات الصغيرة). يقول ابن ماجد: «لا خير في نجم إلى الماء دانه». وهكذا كانت مجموعة الزوايا الزوالية معصورة في نطاق ضيق جداً. وقد لاحظ البحارة، وهم بصدد حل هذه المسألة، أنه قد يحدث

لنجمتين  $b$  و  $c$  (انظر الشكل رقم (٧ - ٩)) أن تكونا في لحظة ما على نفس الارتفاع  $h$ ، إذا كانت الارتفاعات، المقاسة في مكان عرضه  $L$ ، تتعدى قيمة مرجعية معينة مساوية للزاوية الزوالية لنجمة أخرى هي النجمة  $a$ . نرى على الشكل رقم (٧ - ١٠) الحالة الأكثر وقوعاً، حيث تكون النجمة  $c$  على وشك الأفول وتكون النجمة  $b$  بعد البزوغ. ويمكن أن تكون هاتان النجمتان بعد البزوغ في الوضعين  $b$  و  $d$ ، أو على وشك الأفول في الوضعين  $c$  و  $e$ . ويمكن أن يتغير الميل الزاوي لكل من النجمتين. وكان يعبر عن حالة هاتين النجمتين بعبارة: «إنهما على خشبة واحدة» أو بعبارة: «إنهما في تعادل». وهناك عبارات أخرى لها معاني مطابقة تماماً أو مشابهة مع بعض الفوارق لعنى كل من العبارتين السابقتين، تبعاً للحالات المتعددة التي يمكن الوقوع فيها.

الشكل رقم (٧ - ٩)



الشكل رقم (٧ - ١٠)

إن استخدام قيمة الزاوية الزوالية لنجم ما في حساب عرض موقع السفينة يعطي مردوداً نظرياً مساوياً لثمة بالثمة. أما استخدام الارتفاعين المزوجين فإنه يعطي مردوداً يتراوح بين صفر ومئة بالثمة. وذلك لأن هذا المردود الأخير مرتبط بالميل الزاوي وبالسمت لكل من النجمتين المزوجتين. يبدو أن نجح ابن ماجد التجريبي المطبوع بالبساطة قد قاده إلى بعدل حقيقي في النظر. وذلك أنه كان واعياً لضرورة تصحيح الارتفاع المشترك للنجمتين بنسبة معينة؛ وهذا ما قرب نتائجه فعلاً من الحقيقة. أما المهري فلم يفتن إلى هذه المسألة، بل اكتفى بالقول: «أصبح القياس إذا كان النجم للمقاس تحت القطب أو فوقه وقت القياس. وسبب صحته أنه في ذلك الوقت نؤه لا زيادة فيه ولا نقصان... بخلاف قياس الشفاقات فإنها غير صحيحة لسرعة جريها...».

إن الثبات النسبي لنجمة ما عند بلوغها الأوج (وحتى في المناطق الاستوائية) يسمح، في الواقع، برصد موثوق. بينما تؤثر سرعة طلوع النجم الكثير البعد عن مستوي الزوال، بشكل سلبي على الرصد. لقد أعطى المهري قائمة بتسعة نجوم أوصى برصدها. فهو يوصي مثلاً برصد  $\alpha$  السهم ( $\alpha$  Paon) خلال فترة الرياح الموسمية الغربية التي تتضمن ثلاثة أشهر يغلغ فيها البحر. أما الأزواج فهي: زوج الفرقلدين (ب و ج في مجموعة الدب الأصغر)، هـ و في مجموعة النعش (الدب الأكبر)، وأ و ب في مجموعة العيوق

(Centaur)، والسهيل - آخر النهر. ولكن قيم الارتفاعات التي أعطاهما المهري تتعارض مع بعضها إذا اتفقتا من مؤلف إلى آخر.

أما ابن ماجد فهو، كالعادة لا يعطي قائمة متماسكة بأزواج النجوم. ولكن مراجعةً دقيقة لمخطوطاته تسمح بإحصاء ما يقرب من ستين زوجاً من النجوم، غير أن بعضها ناقص. ويجب الحصول بعد ذلك، على قيم الارتفاعات لكل زوج من هذه الأزواج والتحقق منها رياضياً. سنبين فيما يلي الخطوط الكبرى لهذه الزاوجات، ثم نعرض نتائج التحقق الذي قمنا به. وهذا ما سيؤدي بنا إلى تقييم نتائج أعمال هذين البحارين، بعد أن نعرض التقنيات التي استخدمناها.

يوجد في المحاوية (الكتاب الذي حرره ابن ماجد في أيام شبابه، إذا صح أن ابن ماجد كتبه كله) عدة أزواج من النجوم (بالإضافة إلى زوج الفرقدين في مجموعة الدب الأصفر وزوج الدب الأكبر هناك زوج الحمارين وزوج الواقع - الثير وزوج آخر النهر - سهم القوس وزوج آخر النهر - الواقع). وهذا ما يدفعنا إلى التكهن بأن ابن ماجد هو أول من استخدم هذه الطريقة. ثم حرص على بسطها بعناد، بشكل متقطع وغامض أحياناً. ولكن هناك القليل فقط من أزواج النجوم التي تغطي مجموعة واسعة من الارتفاعات والتي أرفقت بالملاحظات الخاصة بالأوقات المناسبة للأسفار والأرصاد.

يمكن أن نميز، بشكل مبسط، ثلاث حالات من المزاوجة بين النجوم:

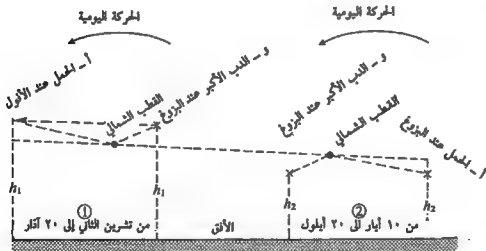
(١) تكون النجمة الأولى قريبة من مستوي الزوال، وتكون النجمة الثانية بعيدة عنه وسريعة في طلوعها، بينما تكون شريكها بطيئة. وهذا ما يساعد على تقرب اللحظة المتوقعة التي تكون فيها النجمتان على الارتفاع نفسه. تسمى هذه الحالة من المزاوجة «عصا الربابين» أو «هكاز الربابين». يقول ابن ماجد ما معناه: تكون النجمة «آخر النهر» غير بعيدة عن زاويتها الزوالية، أما الثير فتكون في بعدها السمتي. يتغير العرض من  $36^\circ$  ;  $25^\circ$  إلى  $19^\circ$  شمالاً، ثم يثبت بالنسبة إلى إحدى النجمتين (سنشرح هذه الطريقة فيما بعد). ليس هناك صعوبات كبرى في تتبع مسار كل من النجمتين، إذا كان الربان على علم بأسماء النجوم وبالأوضاع الجغرافية، وإذا كان أليفاً لأساليب ابن ماجد.

(٢) لا يفرض أي شرط على الميل الزاوي لكل من النجمتين. ولكن الحالة التي يكون فيها أحد هذين الميادين أصغر من  $45^\circ$  وتكون فيها قيمة الميل الآخر اختيارية، نادرة جداً. إن «الفرد الكبير» هو المثال الذي نقدمه لهذه الحالة: و - الدب الأكبر وأ - الحمل. يتضمن استخدام هذا الزوج صعوبات كبرى. فهو يعطي نتائج ممتازة في فترة الرياح الموسمية الشرقية بين درجتي العرض  $19^\circ$  و  $30^\circ$  شمالاً، وكذلك في فترة الرياح الموسمية الغربية بين درجتي العرض  $18^\circ$  و  $24^\circ$  شمالاً. ولكن الخطأ في القياس، خارج هاتين الفترتين، يمكن أن يتجاوز  $20'$  حتى يصل إلى  $30' 1^\circ$ ، وهذا ما يجعل القياس مغلولاً. لقد عظم ابن ماجد قيمة «الفرد الكبير» كثيراً في جميع بحار العالم وحتى في بحر الروم. وهو يكتفي

بوصفه «ضيقاً» في بلاد الزنج و«نفساً» في المناطق العالية العرض. ولكن لماذا لا يقول شيئاً عن هذا الزوج في الأسفار إلى ملقة (التي يتم خلالها تجاوز سيلان بعيداً جداً عن شواطئها) وعند الاقتراب من الصومال، كما رأينا، يقوم بذلك عند كلامه عن «باشي»؟

(٣) هذه الحالة هي مزيج من الحالتين (١) و(٢)، ولكنها لطرافتها تستحق الدراسة بشكل منفصل: إنها حالة «القيء». قد يحدث أن يكون الرصد مستحيلاً في لحظة المزاوجة بين النجمتين: قد يكون ذلك خلال النهار مثلاً. يحل ابن ماجد هذه المسألة بوضع ترتيبية تجعل إحدى النجمتين تحتفظ بارتفاع معين لا يتغير داخل شريط محدد بعرضين معينين، وبحيث يتحرك النجم الثاني داخل هذا الشريط وفق مسار معروف.

لتفرض أن الفارق بين الطالعين المستقيمين لنجمتي زوج ما يقرب من ١٢ ساعة، كما هي حال «الفرد الكبير». هذا يعني أن هاتين النجمتين موجودتان على خطي زوايا متقابلين تقريباً. نتيجة لذلك تصبحان من جديد على الارتفاع نفسه بعد اثني عشرة ساعة تقريباً. وهكذا يحصل «الإبدال» تبعاً لمفهوم ابن ماجد في دراسته لهذا النوع من أزواج النجوم. من الواضح أن الارتفاع المشترك الثاني يختلف عن الارتفاع المشترك الأول، وأن هذه الظاهرة لا تحدث في الليلة نفسها إلا في المناطق ذات العروض المرتفعة خلال فصل الشتاء. ولكن البحارة العرب لم يرصدوا النجوم أبداً في المناطق التي يزيد عرضها على 25° شمالاً أو جنوباً (انظر الشكل رقم (٧ - ١١)). إن هذا المفهوم الخاص للإبدال مناسب لتحقيق حالة «القيء» التي عرضناها أعلاه.



الشكل رقم (٧ - ١١)  
الارتفاعان المشتركان في كل من حالتي الإبدال،  $h_1$  و  $h_2$  هما غير متساويين.

لنستأهل أخيراً عن مدى فهم ابن ماجد للعلاقة بين الأخطاء في تقدير موضع السفينة وبين مردود المزاوجة. ليس لدينا جواب أكيد على ذلك، ولكن ابن ماجد اقترب غالباً من الحقيقة في كتاب الدوالب، عند توضيحه للترتيبات الخاصة بكل زوج من النجوم. وذلك أنه يقول ما معناه: عندما يتغير العرض يتغير الارتفاع المشترك لزوج ما من النجوم أو ارتفاع شريك النجم «المقيد»، ويكون هذا التغير الأخير مساوياً لعدد من أجزاء الإصبع كلما تغيرت الزاوية الزوالية بمقدار إصبع كامل. ولكن، ألم يكن نطاق تغير العرض ضيقاً إلى درجة تخفي على ابن ماجد بعض التقلبات لدى بعض أزواج النجوم؟

### ج - التنسيق بين قياس الارتفاعات وقراءة الخريطة

لم يكن هذا التنسيق سهلاً بشكل دائم؛ سنعطي فيما يلي مثلين آخرين للتوضيح:

(١) إن التلاؤم كامل بين القياسات الخاصة بالنجم القطبي وتلك الخاصة بزوج الفرقدين (ب وج في مجموعة الدب الأصفر)، وذلك عند السير باتجاه الجنوب (كان الجنوب قبل ذلك العصر موجوداً في أسفل الخريطة، إذ كان اسمه السافل). أما التلاؤم بين زوج الفرقدين وبين الزوج هـ و في مجموعة النعش (الدب الأكبر)، فقد أثار جدلاً له ما يبرره. كان التنافر بين الأرصاد الفلكية والرسم على الخريطة، يمتد بعيداً، وخاصة فيما يخص جنوب مدغشقر وجزر المسكراني (باستثناء جزر القمر ذات الوضع المضبوط تماماً على الخريطة). هل يشهد هذا على انقطاع الملاحة العربية في هذه المنطقة، كما كان كذلك شرق ملقة وشمال جدة باتجاه الشمال؟ غير أن الملاحين العرب كانوا يصلون إلى سفالة على طرق بحرية مختلفة. ولقد شعرنا مع ابن ماجد، على إحدى الطرق البحرية الساحلية، بالمذاب الذي كان يقاسمه البحار، الخاضع للتيارات البحرية العنيفة، كما كان يحدث في كمبي (Cambay)، في المياه العكرة الخطرة لقلة عمقها، قريباً من الدلتا الكبير لنهر زمبيز. يجب أن تأخذ السفينة وجهة السهيل في أول الطريق للزودية إلى أعالي المحيط الهندي، وهذا ما يوصلها إلى مستوى مبون شيلوان (Mambone-Chiluan) بخطاً لا يتعدى 20°.

(٢) نحن على علم بدقة قياسات الارتفاعات التي قام بها ابن ماجد، استناداً إلى نجمة القطب الجنوبي في البحر الأحمر، وهذا ما يتعارض مع وجود الأخطاء المتناثرة التي رأيناها أملاه أحياناً. إن أحد هذه الارتفاعات مثير للاهتمام بشكل خاص: إنه يساوي لارتفاع القطب البالغ سبعة أصابع وربع الإصبع. وهذا ما يوافق زاويتين زوايتين متساويتين ومتقابلتين تعطيان القيمتين 16°33' و 16°36' شمالاً، المدهشتين في تقاربهما. وهاتان القيمتان تحددان مكاني صخرتين غادرتين ضمن سلسلة مرجانية مكانها قريب من جزر «الفرسان» (هنا المكان غير واضح على الخرائط الحالية، وقد يكون مثيراً للاهتمام أن يتم تحديده بفضل وثيقة من القرن الخامس عشر، إذ يعطي المثل على التضامن بين البحارة عبر العصور!).



## خاتمة

إن هذه الدراسات والتأملات المتناثرة، لو تائق ينقصها التماسك بشكل خاص، لا يمكنها أن تعطي صورة إجمالية نهائية عن المعارف الملاحية العربية في المحيط الهندي حوالي سنة ١٥٠٠م.

يبقى على الباحثين، كما أشرنا أعلاه باقتضاب، أن يقوموا بإحصاء وتحليل واستثمار العديد من المخطوطات المبعثرة في مكتبات عديدة في البلاد التي لها علاقة بالتاريخ المعقد للملاحة في المحيط الهندي.

لا تشكل الصفحات السابقة إلا مساهمة متواضعة لمجهود جماعي واسع. ليس الهدف من هذا المجهود إغناء علم الملاحة الحديث، وذلك لأننا دخلنا دون رجعة ميدان الملاحة المستندة إلى الإلكترونيات.

أليست مساهمتنا سوى وقفة وداع ممزوجة بالحنين إلى هؤلاء البحارة الذين اعتمدوا على السدسية والبوصلة القديمة والخشبات؟ أم هي بادرة أخيرة موجهة نحو البحارة البسطاء الذين تنازلوا عن وظائفهم للعاملين المغمورين في «مركز العمليات»؟

لا، إن عرض الأمور بهذه الطريقة يشكل إهانة خطيرة لهذين البحارين ابن ماجد والمهري (ولو كان أحدهما أكثر تبحراً من الآخر) اللذين تعلمنا على تقديرهما على الرغم من عيوبهما التي تجعلهما أقرب إلينا. يجب ألا ننسى أنهما وريثان، على الرغم من نواقصهما «العلمية»، لتقليد رائع هريق في التفكير الدقيق تشهد له هذه الدراسة.



## إرث العلم العربي في العبرية

برنار ر. غولدشتاين (\*)

ابتدأ التقليد العلمي العبري، الذي هو انعكاس للتراث اليوناني المقبول بواسطة مصادر عربية، بمرحلة من الترجمات في القرن الثاني عشر للميلاد؛ ثم تابع بدراسات واجتهادات إضافية مبنية على هذه الترجمات. ومع أن مراكز النشاط الرئيسة كانت إسبانيا وجنوب فرنسا، فقد أبدى جميع التجمعات اليهودية اهتماماً بالمواد العلمية. وفي الحقيقة، اهتم الشعراء والمتصوفون وعلماء القانون والفلاسفة اهتماماً كبيراً بالمواضيع العلمية<sup>(١)</sup>.

إن أغلبية النصوص العبرية هي مخطوطات مبعثرة في المكتبات العالمية في مختلف الأصقاع، لكننا نملك منها عدداً كافياً لتحديد سمات هذا التقليد. وتجدد الإشارة إلى أن الكثير من النصوص العربية قد أعيد نسخه بأحرف عبرية. فقد كان هذا التقليد شائعاً لدى اليهود الناطقين بالعربية، وفي بعض الحالات، لم تسلم النصوص الأصلية إلا بهذا الشكل فقط. وخلافاً للنصوص الأدبية، فإن عدداً كبيراً من المستندات قد حفظ في جنيزة القاهرة (Géniza du Caire). وهذه المستندات هي في أغليبتها نصوص كتبت لمناسبات خاصة، ثم أعملت بعد ذلك بفترة قصيرة من الزمن. والجنيزة في الأصل كانت موجودة في غرفة من كنيس القاهرة؛ وكانت توضع فيها المستندات المعلقة للطمر الشعائري لاحقاً. لكن هذا

---

(\*) أستاذ في جامعة بيتسبورغ.

قام بترجمة هذا الفصل شكر الله الشالوحي وتزيمه عبد القادر للرعي.

Bernard Raphael Goldstein: «The Survival of Arabic Astronomy in Hebrew», *Journal (١) for the History of Arabic Science*, vol. 3, no. 1 (Spring 1979), pp. 31 - 39, and «Scientific Traditions in Late Medieval Jewish Communities», in: Gilbert Dahan, ed., *Les Juifs au regard de l'histoire: Mélanges en l'honneur de Bernard Blumenkranz* (Paris: Picard, 1985).

الطمر لم يحدث أبداً، ولقد وجد حولي مئتي ألف مستند عائد إلى الفترة الممتدة ما بين القرنين العاشر والثاسع عشر، وذلك عندما تم نقل هذه المجموعة الثمينة إلى المكتبات الأوروبية والأمريكية في أوائل القرن العشرين. وبين هذه المستندات نجد نصوصاً علمية، تمثل جميع العلوم التي كانت تدرس في العصر الوسيط؛ وأغلبها نصوص بالعربية كتبت بالحرف العبري، إضافة إلى بعض النصوص المدونة بالعربية وأخرى بالعبرية<sup>(١)</sup>.

تظهر دراسة هذه النصوص أن التجمعات اليهودية أولت علوم الفلك والرياضيات والطب اهتماماً أساسياً، لكننا نجد نصوصاً أخرى تمثل فروعاً متنوعة في الفيزياء والبيولوجيا. وهذا ما تبينه الدراسات الفهرسية الموجزة التي قام بها م. شتيتشneider (M. Steinschneider) وأ. رينان (E. Renan)، في القرن التاسع عشر<sup>(٢)</sup>. إضافة إلى ذلك، فإن أغلبية المجموعات الأوروبية الكبرى من المخطوطات المذكورة هي مصنفة، مما يسهل إلى حد بعيد مسألة فحصها الفصّل. ومن بين الدراسات الحديثة حول هذا الموضوع تجدر الإشارة إلى مقالة تحصى أكثر من مئة نسخة من الترجمات العبرية المتنوعة لكتاب ابن سينا القانون في الطب الذي كان النص الأساس في الدراسات الطبية في العصر الوسيط الأول<sup>(٣)</sup>. كما نجد نسخات عديدة لكتابي الأصول لإقليدس والمجسطي لبطليموس، مترجمة عن العربية إلى العبرية. فقد كان هذان الكتابان يشكلان أساساً للدراسات في مجالي الرياضيات وعلم الفلك في العصر الوسيط<sup>(٤)</sup>. إلا أننا، فيما سيلي من هذه الدراسة، سنقتصر على علم الفلك.

يعود البدء بمساهمة اليهود في علم الفلك باللغة العربية إلى أوائل العصر الإسلامي؛ كما هو الحال مثلاً مع ما شاء الله (المتوفى سنة ٨١٥م)<sup>(٥)</sup>. وفي القرن الثاني عشر للميلاد بدأ الاهتمام بالعلم ينتشر لدى يهود البلدان المسيحية، الذين كانت لغتهم الأدبية هي العبرية. وكان هؤلاء اليهود بحاجة إلى ترجمات للنصوص العربية. وأول باحث قدم لهم معلومات في علم الفلك والرياضيات كان أبراهام بارحيتا البرشلوني (القرن الثاني عشر

(٢) حول الإنجليزية، انظر: Solomon Dob Fritz Goitein, *A Mediterranean Society; the Jewish Communities of the Arab World as Portrayed in the Documents of the Cairo Geniza* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1967-), vol. 1, pp. 1 - 28.

(٣) Moritz Steinschneider, *Die Hebräischen Übersetzungen* (Berlin: [n. pb.], 1983), and E. (٣) Renan, «Les Ecrivains juifs français du XIV<sup>e</sup> siècle» dans: *Histoire littéraire de la France*, 38 vols. (Paris: Imprimerie nationale, 1733 - 1944), vol. 31.

B. Richler, «Manuscripts of Avicenna's Kanon in Hebrew Translation», *Koroth*, vol. 8 (١) (1982), pp. 145 - 168.

Steinschneider, *Ibid.*, pp. 506 and 523.

(٥)

نجد لائحة بالمخطوطات أكثر كمالاً في: Institute for Microfilmed Hebrew MSS, the National Library, Jerusalem.

Fuat Sezgin, *Geschichte des Arabischen Schrifttums*, 8 vols. (Leiden: E. J. Brill, (٦) انظر: 1967 - 1982), vol 6: *Astronomie*, pp. 127 - 129

للميلاد)<sup>(٩)</sup>. وما قام به إبراهيم يعتبر بشكل عام شرحاً أكثر مما هو ترجمة فعلية. وهكذا، فإن جداوله الفلكية مثلاً قد ارتكزت على جداول البتاني (المتوفى سنة ٩٢٩م)؛ كما أنه اتبع في مقدمته طريقة هذا المؤلف نفسه<sup>(١٠)</sup>. وأحد هذه الجداول هو عبارة عن قائمة بالنجوم الثابتة مع إحداثياتها. ولكي نفهم معنى هذه القائمة، لا بد من الرجوع إلى النص اليوناني لكتاب المجسطي لبطلميموس (حول سنة ١٤٠م)، الذي يحتوي على ١٠٢٨ نجماً، وقد ترجم إلى العربية إبان القرن التاسع الميلادي<sup>(١١)</sup>. وقد أعاد البتاني وضع نصف هذه القائمة تقريباً، حيث صحح مواقع النجوم، وفق خط الطول، آخذاً بعين الاعتبار المبادرة منذ زمن لبطلميموس وحتى عصره (والمبادرة هي معدل زيادة خط طول النجوم الثابتة مع الوقت؛ وكان لبطلميموس على علم بهذه الزيادة. أما الإحداثية الثابتة أي خط العرض، فهي لا تتغير). واختصر بارحياً أيضاً هذه القائمة ولم يضمنها سوى النجوم من الدرجة الأولى والثانية في العظم (عظمة النجم هي قياس لتألقه).

اندست، في لائحة النجوم لبطلميموس، أخطاء كثيرة من جراء الترجمات، والنسخ، والنسخ عن النسخات، وقد بدت هذه الأخطاء شديدة الغرابة. لكن مقارنة المخطوطات اليونانية والعربية والعبرية التي حفظت، تسمح بتتبع المراحل المختلفة التي قطعها هذا الانتقال، وبحل أغلب الإشكالات. وعلى سبيل المثال، فإن نجماً وارداً في جدول لبطلميموس يتألق من الدرجة الرابعة، يظهر في لائحة بارحياً بتألق أول (أي من الدرجة الأولى (الترجم)). إن هذا الخطأ ناتج عن الخلط بين الحرفين اليونانيين ألفا (alpha) (الذي يمثل القيمة العددية ١) ودلتا (delta) (الذي يمثل القيمة العددية ٤)، إذ إن بعض النساخ كانوا يكتبون هذين الحرفين بشكل واحد. وقد أعطى بارحياً لكل نجم اسمه العربي مدوناً بأحرف عبرية، كما أعطى في الوقت نفسه ترجمة عبرية للأسماء، وقد اتبع هذه الطريقة الكثير من خلفائه. إن تحليل المعطيات العربية والعبرية معاً، يظهر بوضوح أن هذا التقليد فيما يخص أسماء ومواقع النجوم الثابتة في القرون الوسطى يقتصر على العمل الأدبي كالترجمة، ولا يستند إلى أرصاد جديدة مستقلة<sup>(١٢)</sup>.

Abraham bar Hiyya ha-Nasi, *La Obra enciclopédica: yēšodē ha-tibnā u-migdal* (V) *hašmūd*, de Abraham bar Hiyya ha-Bargeloni, Ed. crítica con traducción, prólogo y notas, por José M<sup>a</sup>. Millás Vallicrosa (Madrid: [n. pb.], 1952).

Abraham bar Hiyya ha-Nasi, *La Obra Séfer Heibón mahleket ha-koḳabīm* (Libro del (A) *cálculo de los movimientos de los astros*), Ed. crítica, con traducción, introd. y notas por José M<sup>a</sup>. Millás Vallicrosa ([Barcelona]: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Arias Montano, 1959).

Paul Kunitzsch, *Der Abnagēst: Die Syntax Mathematisches des Claudius Ptolemaeus in* (٩) *Arabisches - lateinischer Überlieferung* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1974).

Bernard Raphael Goldstein, «Star Lists in Hebrew», *Centaurus*, vol. 28 (1985), pp.185-208. (١٠)

وهناك نص عربي آخر كان له تأثير كبير هو نص الخوارزمي حول الجداول الفلكية، الذي درس في إسبانيا درساً مستفيضاً. إن النص الأصلي العائد إلى القرن التاسع مفقود؛ لذلك ينبغي الرجوع إلى ترجمة لاتينية من القرن الثاني عشر للميلاد، موضوعة عن ترجمة إسبانية - عربية منقحة وعائدة إلى العام ١٠٠٠ تقريباً<sup>(١١)</sup>. إضافة إلى ذلك هناك شرح بالعربية للنسخة الأصلية، كان قد كتبه ابن المثنى في إسبانيا في القرن العاشر للميلاد، وقد وصل هذا الشرح إلينا بالعبرية واللاتينية فقط. وتعود إحدى الترجمات العبرية لنص الخوارزمي إلى أبراهام بن عزرا (الذي أقام في إسبانيا وتوفي في العام ١١٦٧م). وتشكل هذه الترجمة مصدراً مهماً للمعلومات حول التطورات الأولى لعلم الفلك الإسلامي في أواخر القرن الثامن وأوائل القرن التاسع الميلاديين<sup>(١٢)</sup>. ويبدو أن المدرسة الفلكية الأولى التي تعرف عليها العرب في القرن الثامن الميلادي، قد وصلت إليهم من مصادر هندية، في حين أنهم لم يتعرفوا على علم الفلك اليوناني إلا لاحقاً. إن شرح ابن المثنى هو محاولة، لم تتكامل دائماً بالتحاج، لتفسير نص يشكل انعكاساً للمصادر الهندية، وذلك بواسطة أساليب وطرق المدرسة اليونانية. وقد كتب بن عزرا في مقدمة ترجمته ما معناه<sup>(١٣)</sup>: «هناك عالم أكثر نبوغاً من أقرانه في علمي الهندسة والفلك، اسمه محمد بن المثنى، كتب مؤلفاً مميّزاً لصالح أحد أنسابه، بخصوص قواعد حركة الكواكب. وينطبق هذا المؤلف على جداول الخوارزمي، وفيه أدرج العالم براهين مقتضبة ورسوماً بيانية صغيرة أخذ مبادئها من الجيسطي... لا يوجد اختلاف بين قواعد بطلميوس لحركة الكواكب وبين قواعد العالم الهندي باستثناء بعض النواحي البسيطة. وعندما نتطرق إلى هذا الأمر، سأفسر سبب الاختلاف».

فمن الواضح أن بن عزرا كان يدرك هذا التداخل بين المدرستين، لكنه وضع كل اهتمامه في إيضاح الاختلافات بسبب عجزه عن الوصول المستقل إلى المصادر الضرورية المناسبة.

Heinrich Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muhammad Ibn Mūsā al-Khwarizmi* in (١١) *der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Maḍrīfī und der latein. Übersetzung des Arthard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Björho und R. Besthorn in Kopenhagen...*, hrsg und Kommentiert von H. Suter (Kobenhavn: A. F. Hest and Son, 1914), and Otto Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwarizmi*, translated with commentary of the latin version (Copenhagen: [n. pb.], 1962).

Aḥmad Ibn al-Muthannī, *Ibn al-Muthannī's Commentary on the Astronomical Tables* (١٢) *of al-Khwarizmi*, two hebrew versions edited and translated with an astronomical commentary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 2 (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1967).

(١٣) المصدر نفسه، ص ١٤٩.

أما الفيلسوف اليهودي الأكثر أهمية في القرن الثاني عشر الميلادي، فهو ابن ميمون أبو عمران موسى الذي كتب مؤلفاً بالعبرية حول التقويم اليهودي، مستنداً جزئياً إلى أعمال أسلافه المسلمين، ولا سيما البتاني<sup>(١٤)</sup>. كما قدم إشارات عديدة فلكية ورياضية في مؤلفه الفلسفي الرئيس دلالة الحائرين، الذي ترجم من العربية إلى العبرية خلال حياة الفيلسوف. وقد نقل ابن ميمون انتقادات كل من ابن باجة وجابر بن أفلح بصدد علم الفلك البطلمي<sup>(١٥)</sup>، وقد عاش هذان الأخيران في القرن الثاني عشر الميلادي في إسبانيا. كما أضاف انتقاداته الخاصة مستنداً جزئياً إلى مناقشة القبيسي (القرن العاشر الميلادي) حول المسافات بين الكواكب، ثم استنتج قائلاً<sup>(١٦)</sup>: «والاستدلال العام منه أنه دلنا على محركة لأمر لا تصل عقول الإنسان إلى معرفته، وإتمام الخواطر في ما لا تصل إلى إدراكه ولا لها آلة تصل بها، إنما هو نقص فطره أو ضرب من الوسواس».

ولقد نقل العديد من النصوص، خلال القرن الثالث عشر الميلادي، من العربية إلى العبرية، وبشكل أساسي في جنوب فرنسا، بفرض استعمالها من قبل العلماء اليهود في تلك المنطقة، الذين كانوا يجهلون العبرية. وقد كان موشيه بن تبون (Moshe ben Tibbon) المترجم الأكبر إنتاجاً، وهو ينتمي إلى أسرة اشتهرت بالمترجمين، كانت قد نزحت من إسبانيا إلى فرنسا في القرن الثاني عشر الميلادي<sup>(١٧)</sup>. وتشكل ترجمة بن تبون إلى العبرية، في العام ١٢٥٩<sup>(١٨)</sup>، لمؤلف كتاب في الهيئة الذي وضعه البطريركي في العام ١٢٠٠، مثلاً

---

Moses ben Maimon, *Sanctification of the New Moon*, translated from the hebrew by S. (١٤) Gandz, with supplementation and an introduction by J. Obermann, and an astronomical commentary by O. Neugebauer, His the Code of Maimonides, Book 3, Treatise 8 (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1956).

Moses ben Maimon, *Le Guide des égarés*, traité de théologie et de philosophie par (١٥) Moïse ben Maimoun, dit Maimonide, publié pour la première fois dans l'original arabe et accompagné d'une traduction française et de notes critiques, littéraires et explicatives par S. Munk, 3 vols. (Paris: A. Franck, 1856 - 1866), vol. 2, pp. 185 - 186 et 193 - 194, réimprimé (Paris: G. - F. Maisonneuve, 1960).

(١٦) للمصدر نفسه، مج ٢، ص ١٩٤ - ١٩٥. حول القبيسي وابن مأمون، انظر:

Bernard Raphael Goldstein, «The Status of Models in Ancient and Medieval Astronomy», *Centaurus*, vol. 24 (1980), p. 138.

(١٧) انظر: D. Romano, «La Transmission des sciences arabes par les Juifs en Languedoc», dans: M. - H. Vicaire et B. Blumenkranz, dir., *Juifs et Judaïsme de Languedoc* (Toulouse: [s. n.], 1977), pp. 363 - 386.

Nūr al-Dīn Abū Ishāq al-Bīrūnī, *On the Principles of Astronomy*, an edition of the (١٨) arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic - hebrew - english glossary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7, 2 vols. (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971).

عن عمله. وقد أخذ البيروني على عاتقه التوفيق بين نماذج مدارات الكواكب الموحدة المركز عند أرسطو والنماذج المختلفة المراكز والمتضمنة لأفلاك التدوير عند بطليموس. وتمثلت فكرته في صيغة معدلة لنماذج بطليموس على سطح كرة بدل أن تكون في مستوى فلك البروج، وذلك بهدف تجنب انتقادات بعض فلاسفة إسبانيا المسلمين.

والحل الذي اقترحه البيروني كان موضع تعليقات وانتقادات أوردها يهودا بن سلومون كوهن الطليطلي (Yahuda ben Salomon Kohen de Tolède) في مؤلفه الموسوعي الذي كتبه في الأصل بالعربية ثم ترجمه بنفسه إلى العبرية سنة ١٢٤٧م. كما علق عليه ليبي بن جرسون (Levi ben Gerson) (المتوفى سنة ١٣٤٤م) في رسالته الفلكية المكتوبة بالعبرية، التي تؤلف الجزء الأول من مقالاته الخامسة الواردة في مؤلفه الفلسفي الكبير حروب الرب (Les Guerres du Seigneur). وانتقده كذلك اسحق إسرائيل الطليطلي (حول سنة ١٣١٠م) في مقالاته الفلكية بالعبرية خلق العالم (ياسود هولام)<sup>(١٩)</sup>. وفي الواقع، فقد تم رفض محاولة تغيير نماذج بطليموس، لأن البيروني لم يستطع تفسير جميع الظواهر الفلكية المعروفة، في حين أن نماذج بطليموس نجحت تماماً بالتنبؤ بهذه الأحداث. إن ترجمة موشيه بن تبون الحرفية تماماً والحالية من أي شرح كانت أساساً في تكوين مصطلح تقني لم يكن موجوداً قبل القرن الثاني عشر الميلادي<sup>(٢٠)</sup>.

ويفضل جهود موشيه بن تبون، بالدرجة الأولى، استطاع العلماء اليهود اللاحقون، الذين كانت العبرية لغتهم الأدبية الوحيدة، أن يقدموا إسهامات علمية أصيلة مستندين إلى المدرستين السابقتين اليونانية والعربية. مع ذلك لم تتوقف الترجمات من العربية إلى العبرية في القرن الرابع عشر الميلادي. فعلى سبيل المثال، ترجم صموئيل بن يهوذا المارسييلي (Samuel ben Judah de Marseille) (المتوفى سنة ١٣٤٠م) إلى العبرية رسالة ما الفجر والشفق كتبها ابن معاذ الجبائي في إسبانيا في القرن الحادي عشر الميلادي، وقد فقد أصلها العربي<sup>(٢١)</sup>. وتعلق هذه الرسالة بمحاولة تحديد ارتفاع الجو بواسطة قياسات قوس انحطاط الشمس عند طلوع النهار أو عند هبوط الليل. والقوس هذا محدد كقوس ينطلق من الشمس (تحت الأفق) إلى الأفق، وهو موجود على دائرة تمر بسمت رأس الراصد. ويستنتج ابن معاذ بواسطة استدلال هندسي واضح، أن ارتفاع الجو هو ٨٠ كيلومتراً تقريباً فوق سطح الأرض، وقد أشار توريشلي أيضاً إلى هذا الارتفاع في العام ١٦٤٤م. بالإضافة إلى ذلك، نقح صموئيل بن يهوذا ترجمة عبرية سابقة لمؤلف جابر بن أفلح لإصلاح

(١٩) المصدر نفسه، مج ١، ص ٤٠ - ٤٤.

(٢٠) انظر: G. B. Sarfatti, *Mathematical Terminology in Hebrew Scientific Literature of the Middle Ages* (Jerusalem: [n. pb.], 1968).

(٢١) Bernard Raphael Goldstein, *Elbn Mu'kidh's Treatise on Twilight and the Height of the Atmosphere*, *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 17 (1977), pp. 97 - 118.



المجسطي. ويطلعنا بن يهوذا إلى حد ما عن دوافعه للقيام بهذا العمل، فيقول: «عندما توصلت، في هذا العصر، إلى ادراك جيد لهذا العلم الشريف (علم الفلك) وجميع، أو تقريباً جميع، العلوم الأخرى، فهمت انطلاقاً من ملحوظات ابن رشد في كتابه حول هذا العلم، أن كل ما هو جيد فيه قد جمع في مؤلف ابن أفلاح...»<sup>(٢٢٦)</sup>.

وتظهر المقارنة بين مختصر المجسطي لابن رشد (إسبانيا، القرن الثاني عشر للميلاد) وكتاب ابن أفلاح في علم الفلك، سداد رأي صموئيل بن يهوذا.

وهناك مترجم آخر من العصر نفسه اسمه كلونيموس بن كلونيموس (أرل (Arles)، توفي بعد العام ١٣٢٨م)، نقل النسخة العربية لكتاب بطليموس في القصاصات على حالات الكواكب المتغيرة إلى العبرية<sup>(٢٢٧)</sup>. لم يبق من هذا المؤلف سوى جزء منه باليونانية، أما مناقشة بطليموس حول المسافات الكونية، التي لعبت دوراً مهماً في النظرية التي كانت سائدة في القرون الوسطى، فقد سلمت فقط في الترجمتين العربية والعبرية. وتفترض نظرية بطليموس أن النموذج الهندسي، المستخدم للتنبؤ بموقع كوكب ما، يحدد أيضاً المسافات النسبية بين هذا الكوكب والأرض. فأنشأ بذلك مجموعة من الكرات الكوكبية، حيث تغلف كل واحدة منها الأخرى، دون أن يكون هناك حيز فارغ فيما بينها، وتغلف هذه المجموعة الكون بأسره، بحيث تقع الكرة الخارجية، وهي كرة النجوم الثابتة، على مسافة ٢٠,٠٠٠ شعاع أرضي تقريباً.

أما الفلكي الأكثر أصالة والذي كتب بالعبرية، فهو ليفي بن جرسون (١٢٨٨ - ١٣٤٤م)، الذي عاش في أورانج ومكث أحياناً بالقرب من أفينيون (Avignon)<sup>(٢٢٨)</sup>. وقد وضع مؤلفاً فلكياً طويلاً، يذكر فيه أن نماذج بطليموس يجب أن تتوافق مع أرصاده الشخصية للظواهر الكوكبية وللكسوفات، وإلا يجب استبدالها بنماذج أخرى تكون أكثر ملاءمة. وفيما يتعلق بالدراسة البطلمية، فقد ارتكز بشكل أساسي على أعمال البتاني، التي وردت على الأرجح في الترجمة العبرية لأبراهام بارحيا. كما نجد في

L. V. Berman, «Greek into Hebrew: Samuel ben Judah of Marseilles, Fourteenth - Century Philosopher and Translator,» in: Alexander Altmann, ed., *Jewish Medieval and Renaissance Studies* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1967), p. 315.

Bernard Raphael Goldstein, «The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses*,» (٢٢٣) reproduction of the entire arabic manuscript, which contains the second part of book I, and a partial english translation, *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.), vol. 57, part 4 (1967), pp. 3 - 55.

Bernard Raphael Goldstein: *The Astronomical Tables of Levi ben Gerson*, *Transactions-* (٢٢٤) Connecticut Academy of Arts and Sciences; v. 45 (New Haven, Conn.: Connecticut Academy of Arts and Sciences, 1974), and *The Astronomy of Levi ben Gerson*, *Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences*; 11 (New York: Springer - Verlag, 1985).

المؤلف الفلكي لليفي بن جرسون جداول مبنية على نماذج جديدة تلبي متطلبات أساس فلسفي صلب وتتوافق مع أوصاده الخاصة. ويستبعد ليفي نموذج أفلاك التدوير، الذي غالباً ما استخدمه بطليموس، لكنه يقبل نموذج بطليموس حول نقطة اعتدال المسير، وهو النموذج الذي انتقده بعنف عدد كبير من العلماء المسلمين ومن بينهم ابن الهيثم (القرن الحادي عشر الميلادي) ونصير الدين الطوسي (القرن الثالث عشر الميلادي)<sup>(٢٥)</sup>. ويبدو أن ليفي لم يكن مطلعاً على الأبحاث الفلكية الهامة التي أجراها علماء مسلمون معاصرون له في العالم الإسلامي الشرقي. وقد عدل ليفي في الأسطرلاب، وهو الآلة المعروفة جيداً في العالم الإسلامي، والتي تستخدم للقيام بالأرصاء، وكذلك لتحويل الإحداثيات<sup>(٢٦)</sup>. ويتمثل هذا التحويل في إضافة سلم مقياس مستعرض على حافة الأسطرلاب، بهدف إظهار التقسيمات الزاوية الأكثر دقة. وقد استخدم فيما بعد تيكو براهي (Tycho Brahe) (القرن السادس عشر الميلادي) هذا المقياس المستعرض على قوس دائرة، في آلات رصد عالية الدقة<sup>(٢٧)</sup>. وكان ليفي مدركاً بعض العيوب في نموذج بطليموس القمري، وقد أشار إليها ابن الشاطر أيضاً (دمشق، القرن الرابع عشر الميلادي)؛ لكن حلول كل منهما كانت مختلفة تماماً<sup>(٢٨)</sup>.

واعترف عمانوئيل بونفيس التراسكوني (Emmanuel Bonfils de Tarascon) (حوالي ١٣٦٠ م) الذي عاش في الجيل الذي تلا جيل ليفي بن جرسون، بفضل الفلكيين المسلمين عليه، ولا سيما منهم البتاني<sup>(٢٩)</sup>. وقد ترجمت جداوله الشائعة المتعلقة بالشمس والقمر، الأجنبية الستة، من العبرية إلى اللاتينية واليونانية البيزنطية. هذا وقد فضل

(٢٥) انظر: Shlomo Pines, «La Dynamique d'Ibn Bījā», dans: *Mélanges Alexandre Koyré*, histoire de la pensée; 12 - 13, 2 vols. (Paris: Hermann, 1964), vol. 1: *L'Aventure de la science*, pp.442-468.

أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، الشكوك على بطليموس، تحقيق عبد الحميد صبره ونبيل الشهابي؛ تصدير Edward Stewart Kennedy, «Late Medieval», مطبعة دار الكتب، ١٩٧١، و «Planetary Theory», *Isis*, vol. 57, no. 189 (Fall 1966), pp. 365 - 378.

Bernard Raphael Goldstein, «Levi ben Gerson: On Instrumental Errors and the Transversal Scale», *Journal for the History of Astronomy*, vol. 8 (1977), pp. 102 - 112.

Hans Henning Raeder, Elis Strömgren and Bengt Strömgren, eds. and tra., *Tycho Brahe's Description of His Instruments and Scientific Work, as Given in Astronomiae Instauratae Mechanica* (Kobenhavn: I. Kommission hos E. Munksgaard, 1946), pp. 29 - 31.

Edward Stewart Kennedy and I. Ghanem, *The Life and Work of Ibn al-Shāṭir: An Arab Astronomer of the Fourteenth Century* (Aleppo: Institute for the History of Arabic Science, 1976).

Bernard Raphael Goldstein, «The Role of Science in the Jewish Community in Fourteenth Century France», *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 314 (1978), pp.39 - 49.

بونفيس جداول البتاني المتعلقة بنماذج بطليموس على جداول ليفي بن جرسون، مما يشير دهشة الباحثين.

وكان لوقوع العلم الآتي من العالم الإسلامي في الشرق صدى كبير استمر لاحقاً. فعلى سبيل المثال، ترجم شلومو بن إلياهو (Schelomo ben Eliyahu) من سالونيك (حوالي العام ١٣٨٠م) من اليونانية البيزنطية إلى العبرية نصاً يسمى الجداول الفارسية، ومصادره الأخيرة موجودة في العالم الإسلامي<sup>(٣٠)</sup>. كما يحتوي نص عبري آخر (الفاتيكان، مخطوطة ٣٨١) على جداول شبيهة بجداول نص عربي مغفل، معروف من خلال عدد من النسخ (مثلاً، باريس، المكتبة الوطنية، مخطوطة المقالة ٢٤٢٨)<sup>(٣١)</sup>. ويستخدم هذا النص السنة ٦٠٠ من التقويم الفارسي (التي توافق السنة ١٢٣١م) كنقطة انطلاق، فهو بذلك يعود على وجه الاحتمال إلى القرن الثالث عشر للميلاد في العالم الإسلامي الشرقي. لذلك لا بد من إجراء تحاليل أكثر عمقاً، لمعرفة تاريخ هذا النص في العربية وفي العبرية وكذلك في اليونانية البيزنطية، وليس في استطاعتنا الآن معرفة مترجم النص إلى العبرية، كما لا نعلم أين عاش أو أين عمل.

ونجد أيضاً بين مخطوطات المكتبة الوطنية نسخة عن ترجمة عبرية مغفلة لجداول ألغ بك<sup>(٣٢)</sup>، التي وضعت في منتصف القرن الخامس عشر. وقد كتبت هذه النسخة على وجه الاحتمال في ضواحي البندقية، حوالي العام ١٥٠٠م. إن هذه الترجمة مثيرة للاهتمام بشكل خاص، لأنها تدفعنا إلى الاعتقاد بأن بعض جوانب علم الفلك الإسلامي الشرقي، بل ربما أيضاً نماذج ابن الشاطر القمرية والكوكبية، وصلت إلى الفلكيين الأوروبيين بواسطة اللغة العبرية. فقد لاحظنا حتى الآن صنفاً من التشابه بين نماذج ابن الشاطر وكوبرنيكوس، لكننا لم نتمكن من إثبات أية طريقة ممكنة لهذا الانتقال<sup>(٣٣)</sup>. كما أن جداول ألغ بك المذكورة أيضاً في ملحق كتاب صلاة بالعبرية، منشور في البندقية سنة ١٥٢٠م<sup>(٣٤)</sup>. كذلك تم تحديد هوية نسخة عبرية من القرن التاسع عشر لجداول ابن الشاطر، مدونة بأحرف عبرية وموجودة في مدينة حلب في سوريا. وهذا مؤشر آخر عن الموقع الذي أحدثه العلم الإسلامي الشرقي على الطائفة اليهودية<sup>(٣٥)</sup>.

(٣٠) Goldstein, «The Survival of Arabic Astronomy in Hebrew», p. 36.

(٣١) ورد ذكر الترجمة العربية لهذا النص في: Sezgin, *Geschichte des Arabischen Schrifttums*, vol. 5: *Mathematik*, p. 324.

نعت اسم أبي الوفاء. ورغم أن هذا الأخير قد ورد ذكره في المقدمة، لكنه ليس مؤلف هذا. لم يتم تحديد الترجمة العبرية، ولم يرد ذكرها من قبل.

(٣٢) مخطوطة عبرية (١٠٩١)، انظر: Goldstein, «The Survival of Arabic Astronomy», p. 38.

(٣٣) Grażyna Rosińska, «Nasir al-Din al-Tusi and Ibn al-Shatir in Cracow?» *Ist.*, vol. 65, no. 227 (June 1974), pp. 239 - 243.

(٣٤) Goldstein, *The Astronomical Tables of Levi ben Gerson*, p. 75.

(٣٥) Goldstein, «The Survival of Arabic Astronomy», p. 38.

ودرس البحاثة اليهود اليمينيون كثيراً أعمال العلماء المسلمين. فلقد وجد في اليمن عدد كبير من نسخ نصوص عربية مدونة بحروف عبرية، ومن بينها نص في علم الفلك وضعه جابر بن أفلح في القرن الثاني عشر الميلادي في إسبانيا، بالإضافة إلى نص آخر للجداول الفلكية التي وضعها كوشيار بن ليان في القرن الحادي عشر الميلادي في إيران، وهذا يعني أن اليهود اليمينيين كانوا على اتصال بالتقاليد العلمية التي تخص مناطق مختلفة من العالم الإسلامي<sup>(٣٦)</sup>.

واعتبر عدد لا يستهان به من العلماء اليهود، وليس جميعهم، أن التنجيم مادة علمية حقيقية، فكتبوا مقالات تتضمن استشهادات كثيرة. وربما كان أبراهام بن عزرا أكثر الملحقين شهرة في مجال التنجيم، وقد استند في أعماله، إلى حد بعيد، إلى المصادر العربية. كما أنه ترجم إلى العربية مؤلفاً في التنجيم العربي هو كتاب الكسوفات (*Le Livre des éclipses*) لما شاء الله، والذي يحتوي على مناقشة حول تاريخ التنجيم. وقد وردت في هذا المؤلف نظرية تعتبر أن المراحل التاريخية تطابق الفترات الزمنية التي تفصل ما بين اقترانات<sup>(٣٧)</sup> الكواكب<sup>(٣٨)</sup>. ومن بين معارضي التنجيم نذكر ابن ميمون، الذي كتب مؤلفاً نقدياً هاجم فيه هذه النظرية، حيث اعتبرها متناقضة مع العلم والدين في آن معا<sup>(٣٩)</sup>.

ولقد وجدنا، بين مستندات الجنيزة في القاهرة، مجموعة مهمة من النصوص التنجيمية مؤلفة من أزياج فلكية وخرائط لبروج السماء بالعربية، بعضها مدون بحرف عربي وبعضها الآخر بحرف عبري. وتعود هذه الأزياج جميعها إلى القرن الثاني عشر الميلادي، وهي تتميز باتباعها التقويم الإسلامي، ويتقدم إسنادات إلى تقاويم أخرى كانت مستخدمة في العالم في القرون الوسطى لم يكن التقويم اليهودي من بينها. وهذا ما يدهو إلى الاعتقاد بأن هذه الأزياج نشأت خارج إطار الطائفة اليهودية، مما يعطينا بعض الإيضاحات حول ميول المسلمين بصدد التنجيم، وكذلك حول اهتمام اليهود بهذا الموضوع<sup>(٤٠)</sup>. وهناك

Goldstein, «Scientific Traditions in Late Medieval Jewish Communities», pp. 235 - (٣٦) 247.

Sezgin, *Geschichte des Arabischen Schrifttums*, vol. 6: *Astronomie*, p. 246. حول كوشيار، انظر: Y. Tzvi Langermann, *The Jews of Yemen and the Exact Sciences* (Jerusalem: [n. pb., انظر لأبها: n. d.]], in hebrew with an english summary.

(٣٧) اقترانات جمع اقتران وهو لقاء ظاهري بين كوكبين أو أكثر في منطقة واحدة. Bernard Raphael Goldstein, «The Book of Eclipses of Masha'allah», *Physic*, vol. 6 (٣٨) (1964), pp. 205 - 213.

I. Twersky, *A Maimonides Reader* (New York: [n. pb.], 1972), pp. 463 - 473. (٣٩)

Bernard Raphael Goldstein and David Pingree: «Additional Astrological Almanacs (٤٠) from the Cairo Geniza», *Journal of the American Oriental Society*, vol. 103 (1983), pp. 673 - 690, and «More Horoscopes from the Cairo Geniza», *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 125, no. 2 (April 1981).

أيضاً نص فلكي صادر عن الجنيزة، قد يكون كتب بمنظور تنجيمي، ونستطيع تحديد تاريخ كتابته في العام ١٢٩٩م<sup>(١١)</sup>. كما نستطيع أن نثبت بواسطة براهين من داخل النص، أن المؤلف المجهول لهذا المستند العربي المكتوب بأحرف عبرية، مدين لجانول ابن يونس الفلكية (القاهرة حوالي سنة ١٠٠٠م)، التي كانت شائعة أيضاً بين العلماء المسلمين. ومع أن هذا النص مختصر، إلا أنه مفصل بما يكفي ليسمح لنا بكشف أخطاء عديدة من مختلف الأصناف، تظهر حدود فهم المؤلف لعلم الفلك.

لقد ناقش الفلكيون اليهود كثيراً في العصر الوسيط مسألة الآلات العلمية، وهنا أيضاً باستطاعتنا التعرف على تأثير المدرسة العربية. فعل سبيل المثال، أعطى الحذب (حوالي العام ١٤٠٠م)، المتحدر من أصل إسباني والمهاجر إلى صقلية، وصفاً لصفحة جامعة لتقويم الكواكب، ابتكرها بنفسه. وقد كان هذا الصنف من الآلات معداً للسماح للفلكيين بتحديد مواقع الكواكب، دون اللجوء إلى حسابات معقدة انطلاقاً من الجداول الفلكية. وفي الحقيقة، فقد تم تصور الكثير من التعديلات والتكييفات البارة للنماذج الكوكبية لبلوغ هذا الهدف، كما تبتنا بذلك نصوص عربية ولاتينية، ونصوص عبرية حالياً<sup>(١٢)</sup>. ويذكر الحذب علماء مسيحيين دون أن يسميهم، بالإضافة إلى الزرقالي (إسبانيا، القرن الحادي عشر الميلادي) وابن الرقام (تونس، القرن الثالث عشر الميلادي) وعلماء مسلمين آخرين.

والخلاصة هي أن العلماء اليهود في العصر الوسيط، وفي بلدان مختلفة، في أوروبا المسيحية كما في العالم الإسلامي، مدينون للعلم العربي، فيما يتعلق بالنص العربي الأصلي وبالترجمة إلى العبرية في آن معاً. فانطلاقاً من هذا الإرث استطاعوا أن يقدموا إسهامهم في مواد علمية مختلفة، خلال عدة قرون.

Bernard Raphael Goldstein and David Pingree, «Astronomical Computations for (11) 1299 from the Cairo Geniza», *Centaurus*, vol. 25 (1982), pp. 303 - 318.

Bernard Raphael Goldstein, «Descriptions of Astronomical Instruments in Hebrew», (12) in: David A. King and George Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, Annals of the New York Academy of Sciences; v. 500 (New York; New York Academy of Sciences, 1987), pp. 105 - 141.



## تطورات العلم العربي في الأندلس

- (\*) خوان فيرني  
(\*\*) خوليو سامسو

### مقدمة

يمتد الإطار التاريخي لهذا الفصل<sup>(١)</sup> من سنة ٧١١م، تاريخ الفتح الإسلامي الأول لشبه الجزيرة الإيبيرية، إلى سنة ١٤٩٢م، تاريخ استيلاء الملوك الكاثوليك على مدينة غرناطة وسقوط بني نصر، آخر السلالات المسلمة المستقلة التي حكمت في إسبانيا. وسندرس ضمن هذا الإطار، تطور العلوم الصحيحة والعلوم الفيزيائية - الطبيعية التي وضعت باللغة العربية خلال هذه المدة من الزمن، في ظل السيطرة السياسية للإسلام. ولقد اخترنا أن نستبعد الطب من دراستنا هذه. لكننا لم نستبعد الصيدلة بسبب الارتباط المباشر لعلم تركيب العقاقير، بعلم النبات. موضوعنا، إذن، هو تطور هذه العلوم التي حملتها اللغة العربية، مع أن المصادر التي حفظتها لنا الأيام لم تكن أحياناً باللغة العربية، إنما كانت باللاتينية أو بالعبرية أو بالقشتالية، أو حتى بالكاتالونية. إن نهجنا هذا يقودنا، إذن، إلى إعمال مساهمات «المدجنين» (Mudéjares) أي المسلمين الذين عاشوا في ظل

---

(\*) أستاذ في جامعة برشلونة.

(\*\*) أستاذ في جامعة برشلونة.

قام بترجمة هذا الفصل شكر الله الشالوحي وتقولا فارس.

(١) الدراسة الوحيدة الشاملة والحديثة العهد هي دراسة: Juan Vernet, *La Ciencia en al-Andalus* (Sevilla: [s. n.], 1986).

سيطرة سياسية مسيحية، كما يقودنا إلى إهمال مساهمات «المورييسكوس» (Moriscos)، أي المسلمين الذين اعتنقوا المسيحية ظاهرياً، في أواخر القرن السادس عشر وأوائل القرن السابع عشر للميلاد. إن إهمالنا لهذه المساهمات المتواضعة بالفعل، لا ينقص من أهميتها الكبيرة من الناحية الاجتماعية - التاريخية. ونجد الإشارة إلى أن استثناء الطب من دراستنا يعود بشكل رئيس إلى نقص الدراسات الدقيقة في هذا المجال، مع أن أبحاثاً فيما يخص تاريخ العلوم الطبية<sup>(٢)</sup> قد بدأت بالفعل.

وفيما يتعلق بالإطار الجغرافي لهذه الدراسة، نجد للملاحظة بأن كلمة «الأندلس» التي نستعملها هنا لا تشير إلى المنطقة الإسبانية التي تحمل حالياً هذا الاسم، بل إلى ما اتفق العرب على إعطائه اسم «الأندلس» وهو كامل إسبانيا المسلمة، أي الواقع السياسي، والثقافي غالباً، الذي طالعت حدوده جبال الپيرينيه في القرن الثامن الميلادي، والذي انكمش تدريجياً بدءاً من ذلك التاريخ، تحت ضغط حملات «الاسترداد» المسيحية، بحيث اقتصر في القرن الثالث عشر، على حدود مملكة غرناطة.

إن هذا التاريخ الذي يمتد على مدى ثمانية قرون ليس معروفاً بشكل متساوٍ. فهو مدروس بشكل لا بأس به حتى القرن الثاني عشر للميلاد وبشكل سيء فيما بعد، ذلك لأن عصور الانحطاط لا تجتذب كثيراً اهتمام المؤرخين. ومن ناحية أخرى، فإن مقابلة تطور العلم العربي في الأندلس مع تطور قرينه في المشرق تظهر بعض الفوارق الهامة. أول هذه الفوارق هو بقاء علم متواضع وثقافة لاتينية - قوطية - مستعربة سيطرت حتى منتصف القرن التاسع تقريباً، واستمرت حتى القرن الحادي عشر على الأقل. وقد امتدت عملية طبع العلم الأندلسي بطابع شرقي طوال الفترة الزمنية الواقعة بين عام ٨٥٠ و١٠٣١م تقريباً، أي حتى سقوط خلافة قرطبة: فقد أخذت مساهمات العلوم المشرقية تتضاءل بعد القرن الحادي عشر الميلادي<sup>(٣)</sup>. وبدأ العلم الأندلسي يستقل تدريجياً، ليقصر ارتباطه على العلاقات الثقافية مع شمالي إفريقيا. ولقد شكل القرن الحادي عشر العصر الذهبي لهذا العلم الذي كان يتطور إجمالاً مع فارق زمني عن العلم المشرقي، يناهز قرناً

---

(٢) انظر في هذا الخصوص: Luis García Ballester: *Historia social de la medicina en la España de los siglos XIII al XVI*, colección textos (Madrid: Akal, 1976-), vol. 1: *La Minoría musulmana y morisca*, and *Los moriscos y la medicina: Un capítulo de la medicina y la ciencia marginadas en la España del siglo XVI*, Labor Universitaria. Monografías (Barcelona: Labor, 1984).

(٣) يمكن أن نتابع جيداً تطور هذه المساهمات بفضل الترجمة، انظر: Juan Vernet, *Ce que la culture arabe a apporté à l'Espagne*, traduit de l'espagnol par Gabriel Martínez Gros, la bibliothèque arabe, collection l'histoire décolonisée (Paris: Sindbad, 1985); traduction allemande: *Die Spanisch-arabische Kultur in Orient und Okzident* (Zürich; Munich: [n. pb.], 1984).



من الزمن تقريباً. ولقد خف هذا الوهج العلمي ابتداءً من القرن الثاني عشر الذي كان يشكل أساس عصر العلوم الفلسفية. ولكن الانحطاط لم يبدأ إلا مع القرن الثالث عشر، الذي شهد ولادة حقبة زمنية نشطة علمياً في إسبانيا المسيحية (ألفونس العاشر). ولم تعد الأندلس تتمتع عملياً بمساهمات العلم في الشرق الذي عرف تجدداً في بداية القرن الثالث عشر. وطوال هذه الحقبة غذى علماء الأندلس بشكل خاص علوم الفلك والنبات والطب والزراعة، وغالباً لم يعيروا اهتمامهم إلى الرياضيات. ولكن لا بد من الإشارة إلى أن أبحاثاً حالية حول بعض الشخصيات كالمملك المومتن ملك سرقسطة وابن معاذ الجبائي وابن باجه قد تجعلنا نغير رأينا هذا في مستقبل قريب.

## أولاً: بقاء الثقافة الإيزيدورية (٧١١ - ٨٥٠م)

لم يكن المسلمون الذين اجتاحتها إسبانيا رجال علم أو قوماً مثقفين. فموجات الاجتياح الأولى تشكلت غالباً من شعوب «البربر»<sup>(٤)</sup> المعربين حديثاً<sup>(٥)</sup>، هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، فإن مؤرخي تلك الفترة الإسبانية - العربية (وخاصة ابن القوطية) يقدمون لنا بعض الشخصيات العربية الرفيعة التي دخلت شبه الجزيرة الإيبيرية في القرن الثامن للميلاد، كشخصيات ذات مستوى ثقافي متدنٍ. ولكننا نستطيع بالطبع إيجاد استثناءات في هذا المجال. فالأموي الأندلسي الأول عبد الرحمن الداخل (٧٥٦ - ٧٨٨م) قام، في حديقة قصره، «الرصافة» - الذي أعطاه هذا الاسم تيمناً بقصر جده هشام في دمشق - بمحاولات لجعل النباتات الشرقية تتأقلم مع المناخ الأندلسي. كما أن عدداً من أفراد حاشيته أجرى تجارب مماثلة. وهكذا تشكلت الخطوة الأولى على طريق إنشاء حدائق علم النبات التي أنشئت في إسبانيا ابتداءً من القرن الحادي عشر<sup>(٦)</sup>. ولكن هذه الحالات التي تدل على الاهتمام بالعلم في بداية الحكم العربي للأندلس، كانت استثنائية بالفعل. فلقد شاع عند المسلمين أن الحنش الصنعائي، وهو أحد «التابعين»، كان يتمتع بمعد نظر وبقدرة على استنباط الأحداث، كما شاع أنه حدد سمات «القبيلة» للجوامع الكبرى لمدينتي قرطبة وسرقسطة. ولكن تبين، حتى منذ القرن العاشر، أن تحديد القبيلة لجامع قرطبة كان

(٤) سكان شمالي أفريقيا الأصليين. (الترجم).

(٥) يعطي غويشار للمعصر العربي في موجات الاجتياح الأولى، أهمية عديدة أكبر من تلك التي توليها إياها المراجع الإسبانية التقليدية. ولكن هذا لا يغير من جوهر معطيات الموضوع. انظر:

Pierre Guichard, *Structures sociales orientales et occidentales dans l'Espagne musulmane, civilisations et sociétés*; 60 (Paris: Mouton, 1977).

(٦) انظر: Julio Samsó, «Ibn Hishām al-Lajmī y el primer jardín botánico en al-Andalus»,

*Revista del Instituto Español de Estudios Islámicos en Madrid*, vol. 21 (1981 - 1982), pp. 135 - 141.

تحديداً شيئاً<sup>(٧)</sup>. ولا شك أن مسألة تحديد الاتجاه كانت من التعقيد بحيث تصعب على معارف ذلك العصر، وفي المحيط الأندلسي بالذات. وفيما يتعلق بالإمكانات المعرفية لذلك العصر، نجد في المصادر التاريخية التي اهتمت باحتلال الأندلس، أسانيد تركزت على عمارسات العرافة والتنجيم وذلك في الأوساط المسيحية والمسلمة على السواء<sup>(٨)</sup>. ويمكن وصف التقنيات الخاصة بهذا الشأن، التنجيمية منها أو غير التنجيمية، بأنها نادراً ما كانت دقيقة. ومن جهة أخرى، هناك عدد من المعطيات التي تسمح لنا بالدفاع عن نظرية استمرار التقليد الفلكي والتنجيمي اللاتيني - القوطي في الوسط الأندلسي المسلم. فكتاب *وُكُر بلاد الأندلس*، الذي ألفه كاتب مغربي مجهول الاسم، في النصف الثاني من القرن الرابع عشر أو في مستهل القرن الخامس عشر الميلادي، ينسب إلى الملك سيسبوت (Sisebut) (٦١٢ - ٦٢١م) كتابات أشعار، حول مسائل تخص علم الفلك والتنجيم والطب. وإننا لا نعلم شيئاً حول كتابات سيسبوت في الطب، ولكنه بدون شك مؤلف الكتاب: *Epistula metrica ad Isidorum de libro rotarum* حيث يعطي تفسيراً عقلانياً وصحيحاً لكسوف الشمس ولخسوف القمر. كما أن الرازي، المؤرخ المعروف، يتحدث عن شهرة إيزيدور الإشبيلي كمنجم. هذه الشهرة التي قد ترجع إلى القسم الفلكي من كتاب الاشتقاق<sup>(٩)</sup> (*Etymologies*) وإلى كتابه *De natura rerum*<sup>(١٠)</sup>. وفي الواقع فإن العمل للموسوعي لإيزيدور هو أكثر أهمية مما قد يتصوره المرء للوهلة الأولى. ففي هذا العمل، نجد ذكراً للسنوات - الحدود البابلية التي هي في أساس التقاويم الفلكية كتقويم

Manuela Marín, «*Sehāba et jībūn dans al-Andalus: Histoire et légende*,» *Studia Islamica*, vol. 54 (1981), pp. 5 - 49.

وحول تحديد القبلة في الأندلس، انظر: David A. King, «Three Sundials from Islamic Andalusia», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 2, no. 2 (November 1978), pp. 358 - 392, reprinted in: David A. King, *Islamic Astronomical Instruments* (London: Variorum Reprints, 1986), and Julio Samsó, «En torno al problema de la determinación del acmūt de la alquibla en al-Andalus en los siglos VIII y IX: Estado de la cuestión e hipótesis de trabajo», in: *Homenaje a Manuel Ocaña Jiménez* (Córdoba: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, 1990), pp. 207 - 212.

Manuela Marín, «*ʿIbn al-nujūm et ʿIbn al-hidhān en al-Andalus*,» paper presented at: *Actas del XII Congreso de la U.E.A.I.* (Madrid: [n. pb.], 1986), pp. 509 - 535, and Julio Samsó, «Astrology, Pre-Islamic Spain and the Conquest of al-Andalus», *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos*, vol. 23 (1985 - 1986), pp. 39 - 54.

(٩) أو «علوم الاشتقاق»، أو «الشقات». (لترجم).

Julio Samsó, «Nota sobre la biografía de Sisebuto en un texto árabe anónimo», (١٠) انظر: *Serta Gratulatoria in honorem Juan Régulo* (La Laguna: [n. pb.], 1985), vol. 1: *Filología*, pp. 639 - 642.

الزرقالي مثلاً<sup>(١١)</sup>.

ولكن الأثر الأكثر وضوحاً لاستمرارية التقليد اللاتيني - القوطي في مجال التنجيم يوجد في مؤلف لآلفونس العاشر هو *Libro de las Cruces*. وهذا الكتاب هو ترجمة قشتالية لنص تنجيمي عربي اكتشفت حديثاً عدة مقاطع منه<sup>(١٢)</sup>؛ من بين هذه المقاطع تسعة وثلاثون بيتاً من أرجوزة شعرية لعبد الواحد بن اسحق الديلي، وهو منجم بلاط الأمير هشام الأول (٧٨٨ - ٧٩٦م)؛ وهذه الأبيات تقع في الفصل السابع والخمسين من كتاب آلفونس العاشر *Libro de las Cruces*<sup>(١٣)</sup>. وهكذا يكون لدينا نص هو، على حد علمنا، المصدر التنجيمي الأندلسي الأقدم والذي، إضافة إلى ذلك، كتب في عصر لا نعرف فيه وجوداً لأي أثر عن دخول النصوص التنجيمية الشرقية، - من التقليد الهندي أو الفارسي أو اليوناني - إلى الأندلس. نضيف إلى هذا، أن النصوص العربية التي حفظتها الأيام، وكذلك النسخ القشتالية لمؤلف آلفونس تشدد على أن «طريقة أحكام الصلوك» كانت المنهج القديم للتكهن التنجيمي الذي مارسه «روم» الأندلس وإفريقيا والمغرب قبل إدخال مناهج المنجمين الشرقيين الأكثر تطوراً.

من كل هذا، نستنتج أن كتاب *Libro de las Cruces* هو الشكل الأكثر تطوراً لموجز في التنجيم يعود أصله إلى اللاتينية الأولى، كان يستعمل في إسبانيا وإفريقيا الشمالية قبل الفتح الإسلامي. وقد استمر هذا النوع من التقنيات التنجيمية إلى ما بعد مرحلة «تسويق» الأندلس؛ فلدينا ما يدعو إلى الاعتقاد بأنه استخدم من قبل منجمي المنصور بن أبي عامر (٩٨١ - ١٠٠٢م)<sup>(١٤)</sup>؛ وقد أعيد النظر فيه فيما بعد - ربما في القرن الحادي عشر - من قبل المدعو عبيد الله والذي يعتبره المؤرخون، عادة، عبيد الله الإسماعيلي، وهو منجم معاصر لـ «صاعد» قاضي طليطلة. ولا بد أن هذا النوع من التقنيات بقي متداولاً حتى

(١١) انظر: Julio Samsó, «Astronomica Isidoriana», *Faventia*, vol. 1 (1979), pp. 167 - 174.

(١٢) انظر: Juan Vernet, «Tradición e innovación en la ciencia medieval», in: Juan Vernet,

*Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval* (Barcelona; Bellaterra: [n. pb.], 1979), pp. 173-189, and Rafael Muñoz, «Textos árabes del Libro de las Cruces de Alfonso X» in: Juan Vernet, ed., *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII* (Barcelona: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Barcelona, 1981), pp. 175 - 204.

(١٣) انظر تحقيق وترجمة هذا النص في: Julio Samsó, «La Primitiva versión árabe del Libro de las Cruces», in: Juan Vernet, ed., *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X* (Barcelona: Instituto de Filología, Institución «Milá y Fontanals», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1983), pp. 149 - 161.

(١٤) انظر: Juan Vernet, «Astrología y política en la Córdoba del siglo X», *Revista del*

*Instituto Egipcio de Estudios Islámicos*, vol. 15 (1970), pp. 91 - 100.

القرن الثالث عشر، حيث أن ألفونس العاشر أمر بترجمة الكتاب المذكور<sup>(١٥)</sup>.

يجب ألا نستغرب احتمال أن يكون أصل كتاب أحكام الصلوة لاتينياً، لأن هذا الاحتمال يؤكد معلوماتنا عن الثقافة الأندلسية لذلك العصر. فلقد كان أولوج القرطبي - وهو وجه عرف كلهم للحركة الإسبانية الغربية المسماة «الشهداء المتطوعون» والتي بدأت عام ٨٥٠م - مولعاً بالكتب اللاتينية. وقد وجد في مكتبته كتاب *Codex R.II 18* (Ovetense) من إسكوريال الذي يحوي جزءاً من كتاب *De natura rerum* لإيزيدور الإشبيلي ونصوصاً جغرافية (متفرعة من كتاب الاشتقاقات ومن مصادر أخرى) كما يحوي بياناً بالكسوفات للعامين ٧٧٨ و٧٧٩م وجدول مكتبة كنيسة قرطبة... الخ. وهذه المحتويات كلها مرفقة بملحوظات هامشية باللغة العربية، نجد مثلها في مخطوطات لاتينية أخرى حاوية على كتاب الاشتقاقات. والمصدر الأكثر إثارة للانتباه هو الخريطة الجغرافية الإيزيدورية الشهيرة التي وضعت على شكل الحرف اللاتيني T والمحفوفة ضمن مخطوطة في المكتبة الوطنية في مدريد، حيث كتبت التعليقات عليها باللغة العربية. وهذا يدل على أنها رسمت إما من قبل عربي يعرف جيداً التقليد الإيزيدوري أو من قبل مستعرب<sup>(١٦)</sup>. وبالاتقال من مجال الجغرافيا إلى مجال التاريخ تصبح الأدلة أكثر وضوحاً. لكن بحثنا هذا ليس المكان الملائم للتوسع والاستطراد. يكفي هنا أن نشير إلى الترجمة العربية التي جرت في قرطبة لكتاب *Historiarum adversus paganos libri septem* الذي ألفه باولوس أروسيوس<sup>(١٧)</sup>. فهذه الترجمة التي جرت في زمن لاحق للمرحلة التي تهمنا، تشكل مثلاً يثبت صحة ما تقدم.

ولنعد الآن إلى مجال تاريخ العلوم، فسوف نتعرض لاحقاً إلى العناصر الثقافية «المستعربة» الموجودة في كتاب تقويم قرطبة (*Calendrier de Cordoue*).

(١٥) في ما يتعلق بالتقنيات التي استعملها المنجمون الذين يتبعون «طريقة أحكام الصلوة»، انظر: Julio Samsó: «The Early Development of Astrology in al-Andalus», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 3, no. 2 (Fall 1979), pp. 228 - 243, et «En torno a los métodos de cálculo utilizados por los astrólogos andalusíes a fines del s. VIII y principios del IX: Algunas hipótesis de trabajo», paper presented at: *Actas de las II Jornadas de Cultura Árabe e Islámica* (Madrid: [n. pb.], 1985), pp. 509 - 522, et M. D. Poch, «El concepto de quemazón en el Libro de las Crízes», *Awraq*, vol. 3 (1980), pp. 68 - 74.

(١٦) انظر: Gonzalo Menéndez Pidal, «Mozárabes y asturianos en la cultura de la Alta Edad Media en relación especial con la historia de los conocimientos geográficos», *Boletín de la Real Academia de la Historia*, vol. 134 (1954), pp. 137 - 291.

(١٧) من بين المراجع العديدة المتعلقة بالموضوع نكتفي بالقالة الحديثة لعبد الرحمن بدوي، في: باولوس أروسيوس، تاريخ العالم، تحقيق عبد الرحمن بدوي (بيروت: [د. ن.], ١٩٨٢).

إن قراءة الفصل المتعلق بأطباء الأندلس في كتاب طبقات الأطباء والحكماء لابن جليل الأندلسي<sup>(١٨)</sup>، مفيدة جداً في فقرتنا هذه. فالمؤلف يشير إلى أن الإسبان كانوا في أساس العلوم الطبية في الأندلس حتى عهد عبد الرحمن الثالث الناصر (٩١٢ - ٩٦١م) ويقول: «قد مورس الطب في الأندلس استناداً إلى واحد من كتب المسيحيين الذي تمت ترجمته. كان الكتاب يحمل عنوان *Aphorisme*، وتعني الكلمة كونه مصنفاً». وليس المقصود من عبارة «*aphorisme*» هنا التلميح إلى كتاب *ألف Aphorismes* لأبقراط أو التينين بهذا المؤلف. ذلك لأن هذه الكلمة تشير، كما يقول إيزيدور الاشبيلي (انظر كتاب الاشتقاق، ٤، ١٠)، حسب المصطلحات الطبية، إلى نوع من أنواع الكتابات الأدبية. ومن جهة أخرى، فمن بين الأطباء الستة الذين أتى ابن جليل على ذكرهم إبان إمارات محمد (٨٥٢ - ٨٨٦م) والمنذر (٨٨٦ - ٨٨٨م) وعبد الله (٨٨٨ - ٩١٢م)، خمسة هم مسيحيون، يحمل اثنان منهم اسمين غير اعتياديين: حمد بن أبيه وخالد بن يزيد بن رمان. كما أن أحد أولئك الأطباء الخمسة، المدعو جواد هو مؤلف كتاب عقار الراهب.

ولقد تغير هذا الوضع مع عبد الرحمن الثالث، ولكن التقليد الطبي اللاتيني استمر في شخص يحيى بن اسحق وهو ابن طبيب مسيحي كتب خمسة دفاتر في كتاب *Aphorismes*. ويروى أن يحيى بن اسحق استشار أحد الرهبان بخصوص حالة التهاب أصاب أذن الخليفة. كل هذا يؤكد الطبيب سميد بن عبد ربه (ت حوالى ٩٥٣ - ٩٧٧م) الذي يقول في مؤلفه أروجوزة في الطب: «إن أقصى الحدود (في الطب) لن يتم بلوغها إلا من قبل من سوف يتعرف إلى النصوص القديمة المترجمة عن العربية» (انظر المعريات)<sup>(١٩)</sup>.

وتتجلى استمرارية التقليد اللاتيني في مجال ثالث هو مجال علم الزراعة. فحتى تاريخ حديث جداً، كانت مقبولة بشكل عام، فكرة وجود مباشر لتقليد كولوميل (Columela) بين علماء الزراعة الأندلسيين. وكان مقبولاً أن نصل إلى حد افتراض وجود ترجمة عربية أنجزت في إسبانيا لكتاب *De re rustica* الذي ألفه كولوميل. ولقد ارتكزت هذه النظرية على استشهادات ساقها ابن حجاج (حوالى ١٠٧٣م) عن كاتب يدهى يونيوس (Yūnyūs)، الذي درجت مطابقتها مع *Tunius Moderatus Columela*<sup>(٢٠)</sup>، أي مع كولوميل. ولكن، في العام ١٩٧٨، نسف المؤرخ روجرز (Rodgers) هذه النظرية مظهراً أن تشابه

(١٨) انظر: Juan Vernet, «Los médicos andaluces en el Libro de las generaciones de médicos: فحى تاريخ de Ibn Ghulghul», in: Vernet, *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval*, pp. 469 - 486.

(١٩) انظر: R. Kühne, «La *Urfixa fi-l-fibb* de Sa'īd Ibn 'Abd Rabbihī», *Al-Qanṭara*, vol. 1 (1980), pp. 279 - 338.

(٢٠) انظر التحقيق الحديث لـ كتاب *الفن في الفلاحة* لابن الحجاج الذي قام به:

J. M. Carabeza, «La Edición jordaná de *al-Muqni* de Ibn Ḥaǧǧā: Problemas en torno a su autoría», *Al-Qanṭara*, vol. 11 (1990), pp. 71 - 81.

استشهادات يونيوس مع بعض مقاطع *De re rustica*، يعود بالأحرى إلى تطابق المواضيع المعالجة، كاشفاً عن تناقضات بين هذين العملين، مظهراً أننا نجد المزيد من التشابه عندما نقابل استشهادات يونيوس مع المؤلف الزراعي الذي كتبه Vindanios Anatolios de Berito والمحفوظ في ترجمة عربية مشتقة من ترجمة سريانية سابقة. فيكون يونيوس إذاً - حسب روجرز وعطية - تمحوراً لاسم Vindanios<sup>(٢١)</sup>.

غير أنه، وعلى الرغم من الضربة التي تلقتها نظرية وجود تقليد كولوميليا في العلوم الزراعية في الأندلس، فقد حافظ، حتى أكثر الكتاب تحفظاً، على فكرة بقاء لعلم الزراعة اللاتيني في إسبانيا المسلمة (وبقاء التقليد اللاتيني شكل، بالنسبة إلى بعض العلماء، سبباً من أسباب الفوارق الأساسية بين علم الزراعة الأندلسي ونظيره الشرقي). إن استمرار هذا الانتعاش يعود إلى أن ابن حجاج يؤكد ارتكازه على تقليد «الروم» (المستعربين) في الأندلس وأن ابن العوام (القرن الثاني عشر أو النصف الأول من القرن الثالث عشر للميلاد) يقول بأنه جمع آراءه من كتاب غير مسلمين. ولم يذكر ابن العوام أي اسم، لكنه كان يقدم استشهاداته بجممل مثل: «يقول بعض علماء الزراعة...» و«يقول آخرون...». ولقد توصل المؤرخ عطية إلى تحديد أحد مصادر ابن العوام التي لا اسم لها، وذلك ضمن مخطوطة عربية في المكتبة الوطنية في باريس. ويفترض بأن كاتب هذا المصدر إسباني، لأنه يدافع بشراسة عن طريقة إنجيلية لإخصاب الشجرة العاقر عن طريق تهديدها بالفأس. وهذا المصدر هو رسالة صغيرة من القرن العاشر الميلادي ألفها مستعرب يتمتع بثقافة عربية معمقة، يأتي على ذكر المؤلفين المعروفين من خلال كتبهم العربية الشرقية. ومن ناحية أخرى، نذكر بأن عطية نفسه يعتقد بوجود ترجمة إسبانية - عربية لإنجاز Martial<sup>(٢٢)</sup> في العلم الزراعي.

---

(٢١) انظر: R. H. Rodgers, «Yūniyūs o Columela en la España Medieval?» *Al-Andalus*, vol. 43 (1978), pp. 163 - 172.

(٢٢) انظر: Bachir Attié: «Ibn Haǧǧāǧ était-il polyglotte?» *Al-Qantara*, vol. 1 (1980), pp. 243-261; «L'Ordre chronologique probable des sources directes d'Ibn al-'Awwām», *Al-Qantara*, vol. 3 (1982), pp. 299 - 332, et «La Bibliographie de al-Muqni' d'Ibn Haǧǧāǧ», *Hesperis - Tamuda*, vol. 19 (1980 - 1981), pp. 47 - 74.

النص المتعلق بعلم الزراعة الذي يحرره عطية عائداً لكاتب مسيحي، نُشر حديثاً بواسطة:

A. C. López, *Kitāb fī tarīf awǧāt al-ǧirāsa wa-l-maǧrūsāt: Un tratado agrícola andalusí anónimo* (Granada: [n. pb.], 1990).

## ثانياً: تطور الثقافة الشرقية (٨٥٠ - ١٠٣١م)

إن اللوحة التي رسمناها حتى الآن هي وحيدة الجانب. فلقد شددنا على بقاء ثقافة لاتينية - قوطية في العلوم الأندلسية، لأن هذا البقاء يشكل السمة الأكثر تمييزاً. ولكننا لا ندعي أنها السمة الوحيدة. ومن ناحية أخرى، فإن الحدود الزمنية لمرصنا هذا هي عبارة عن نقاط استدلال بسيطة. فلقد قلّمنا عدداً وافياً من الأمثلة التي تبرهن أن الثقافة اللاتينية قد استمرت إلى ما بعد سنة ٨٥٠م متعايشة مع الثقافة العربية.

ومن ناحية أخرى، وعلى الأقل منذ أن اعتلى أول أموي العرش سنة ٧٥٦م، بدأت عملية تشريق الثقافة الأندلسية، بمرحلة أولى طبعت بالتأثير السوري، تلتها مرحلة من التأثير العراقي الذي بدأ مع القرن التاسع وتوطد في ظل إمارة عبد الرحمن الثاني (٨٢١ - ٨٥٢م)<sup>(٢٣)</sup>. فالسافرون الذين ذهبوا إلى الشرق إما للدراسة أو لأداء فريضة الحج كانوا يعودون بآخر المستجدات. فلقد أضحى الجامع الكبير لمدينة قرطبة الذي أسسه سنة ٧٨٦م، عبد الرحمن الأول، مركزاً لنشر الثقافة. وأدخلت بطه، علوم الطب والفلك والرياضيات في التعليم العالي الذي كان يجري في الجوامع أو في بيوت خاصة (ولقد ظهرت «المدرسة» بعد هذه المرحلة بمدة طويلة)<sup>(٢٤)</sup>.

إننا لا نعرف شيئاً عن تطور مؤسسات علمية أخرى كالمستشفيات (التي وجدت بالتأكيد) أو المراصد (التي قد يشك بوجودها) ولكن الأمر يختلف فيما يتعلق بالمكتبات<sup>(٢٥)</sup>. واهتمام بعض الأمراء الثابت بالكتب كان أمراً معروفاً. فلقد كان عبد الرحمن الثاني من قراء الكتب الفلسفية والطبية، ولقد أرسل عباس بن ناصح إلى الشرق ليشتري له الكتب. هذا، ومن الثابت وجود مكتبة ملكية منذ إمارة محمد (٨٥٢ - ٨٨٦م)، تطورت بشكل هائل في ظل إمارة الحكم الثاني (٩٦١ - ٩٧٦م)؛ فقد شاع أن

---

(٢٣) إن عملية التشريق هذه قد وصفت بدقة من وجهة نظر تاريخ الثقافة الأندلسية، بواسطة المؤرخ

مكي.

(٢٤) حول التعليم في الأندلس، انظر: J. Ribera, «La Enseñanza entre los musulmanes españoles», in: *Disertaciones y Opúsculos* (Madrid: [n. pb.], 1928), vol. I, pp. 229 - 359, and محمد عبد الحميد عيسى، تاريخ التعليم في الأندلس (القاهرة: دار الفكر العربي، ١٩٨٢).

(٢٥) انظر: J. Ribera, «Bibliófilos y bibliotecas en la España Musulmana», in: *Disertaciones y Opúsculos*, vol. I, pp. 181 - 228.

هذه المكتبة ضمت في ظل خلافته أربعمئة ألف مجلد. ولا يغير في هذا الواقع كون هذا الرقم مبالغاً فيه (نفس الرقم كان ينسب لعدد مجلدات مكتبة الإسكندرية الكبرى). ومن ناحية أخرى، بدأت تظهر مكتبات عديدة خاصة خلال القرنين العاشر والحادي عشر في قرطبة وإشبيلية وألمرية وبداخس وطليطلة وسرقسطة... الخ.

وقد يعود إلى عبد الرحمن الثاني الدور الأساسي في تشريق الثقافة العلمية. ويروي مؤلف مغربي مجهول الاسم من القرن الرابع عشر أو الخامس عشر، أنه «أول من أدخل كتب الأزياج»، أي أول من أدخل الجداول الفلكية إلى الأندلس. كما أنه أول من أدخل إلى الأندلس كتب الفلسفة والموسيقى والطب وعلم الفلك<sup>(٢٦)</sup>. ففي عصره أدخل عباس بن فرناس (ت ٨٨٧م)<sup>(٢٧)</sup> أو سمّيه عباس بن ناصح (ت بعد ٨٤٤م)<sup>(٢٨)</sup> نسخة من جداول السندهند التي درج اعتبارها جداول الخوارزمي. ولربما كان الدفتر المحكم الذي يذكره عباس بن فرناس في شعره هو زيغ أيضاً<sup>(٢٩)</sup>. وعلى كل حال توصل التنجيم لأن يصبح علماً مرموقاً في بلاط قرطبة حيث أحاطت بالأمير حاشية من الشعراء المنجمين مثل ابن فرناس وابن ناصح ويحيى الغزال<sup>(٣٠)</sup> وابن شمر<sup>(٣١)</sup>. وقد يعود هذا الاهتمام الذي أولاه الأمير للتنجيم، إلى الأحداث الفلكية الهامة التي حصلت خلال خلافته. فكسوف الشمس الذي حصل في ١٧ أيلول/سبتمبر سنة ٨٣٣م والذي كان كلياً تقريباً في قرطبة أزعج سكان المدينة دافعاً بهم إلى الجامع الكبير لإقامة طقوس الصلاة. كما حصل سقوط كثيف للنيازك ما بين ٢٠ نيسان/أبريل و١٨ أيار/مايو سنة ٨٣٩م. ومنذ ذلك العهد على الأقل، أصبح النجم من الشخصيات التي تتمتع بثقة الأمراء، ومن ثم بثقة الخلفاء، مما أثار خيرة، وحفيظة، الفقهاء وبعض الشعراء. ولدينا العديد من الشهادات التي تدل على

(٢٦) انظر: L. Molina, éd., *Una descripción anónima de al-Andalus* (Madrid: [n. pb.], 1983), vol. 1, p. 138.

(٢٧) انظر: E. Terès, «'Abbās b. Firnās», *Al-Andalus*, vol. 25 (1960), pp. 239 - 249.

(٢٨) انظر: E. Terès, «'Abbās Ibn Nāḥib, poeta y qāfi de Algeciras», dans: *Etudes d'orientalisme dédiées à la mémoire de Lévi - Provençal*, 2 vols. (Paris: G. - P. Maisonneuve et Larose, 1962), vol. 1, pp. 339 - 358.

(٢٩) انظر: ابن حيان، للتنبس من قباء أهل الأندلس، تحقيق م. علي مكي (بيروت: [د. ن.], ١٩٧٣)، ص ٢٨١ - ٢٨٢.

(٣٠) انظر: Vernet, «Tradición e innovación en la ciencia medieval», pp. 173 - 189.

(٣١) انظر: E. Terès, «'Ibn al-Šamir, poeta astrólogo en la corte de 'Abd al-Rahmān II», *Al-Andalus*, vol. 24 (1959), pp. 449 - 463.



المواقف الكلامية المعادية للتنجيم والتي لم تتوقف عند هذا الحد بل أصبحت في القرنين التاسع والعاشر للميلاد مواقف معادية لعلم الفلك أيضاً<sup>(٣٢)</sup>.

وعرفت هذه المرحلة إدخال مستجدات علمية عديدة إلى الأندلس، بشكل متواصل. ويكفي هنا إعطاء بعض الأمثلة. فقد يعود فضل كبير في التشريع في مجال الطب إلى وجود طبيب في قرطبة يدعى الحزاني، مارس الطب في بلاط عبد الرحمن الثاني. وابن جليلج الذي يذكر هذا الطبيب، يأتي أيضاً على ذكر حفيديه (٩) أحمد وعمر بن يونس الحزاني، اللذين كانا طالبين في بغداد، إلى جانب ثابت بن سنان بن ثابت بن قرة الذي كان أيضاً حزانياً، وهذا يظهر استمرارية في التقليد الذي بدأ مع الحزاني الجدد. ولقد أوحى بأن هذين الحزانين، يعودتهما إلى الأندلس قد يكونان أدخلوا إليها تقنيات السحر الطلسمي التي أعطت ثمارها في إسبانيا القرن الحادي عشر مع كتاب هيايات الحكيم (Picatrix) لأبي مسلمة المجرطي. وفي القرن العاشر أيضاً استخدم ابن جليلج مصادر لاتينية وعربية لكي يولف كتابه طبقات الأطباء والحكماء. ومن بين هذه المصادر، كتاب الألفو لأبي معشر، وتحمل الاهتمام لهذا النوع من التنجيم أيضاً في مقدمة كتاب *Liber Universus* لعمر بن فرخان الطبري في قرطبة حوالي القرن العاشر للميلاد<sup>(٣٣)</sup>.

وفي هذا القرن أدخلت أيضاً إلى الأندلس رسائل إخوان الصفا والـ *Tabula Smaragdina*<sup>(٣٤)</sup>، كما كتب يحيى بن إسحق موجزاً في الطب شكل حصيلة لكل الطب الإغريقي المعروف في عصره<sup>(٣٥)</sup>. وكذلك قدم ابن جليلج لائحة بستة عشر مؤلفاً لجالينوس كان يفترض بكل طالب في الطب أن يعرفها<sup>(٣٦)</sup>.

وفي المتصف الثاني من القرن التاسع أصبح بإمكان العلم الأندلسي أن يكون متجاً. وهذا الصدد، فإن أبرز الوجوه العلمية كان عباس بن فرناس الذي توفي عام ٨٨٧م والذي

(٣٢) انظر: Samsó, «The Early Development of Astrology in al-Andalus», pp. 228 - 243.

(٣٣) انظر: David Pingree, «The Liber Universus of 'Umar Ibn al-Farrukhān al-Tabarī», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 1, no. 1 (May 1977), pp. 8 - 12.

(٣٤) انظر: S. M. Stern, «A Letter of the Byzantine Emperor to the Court of the Spanish Umayyad Caliph al-Hakam», *Al-Andalus*, vol. 26 (1961), pp. 37 - 42.

(٣٥) انظر: Max Meyerhof, «Requise d'histoire de la pharmacologie et botanique chez les musulmans d'Espagne», *Al-Andalus*, vol. 3 (1933), surtout p. 6.

(٣٦) انظر: أبو داود سليمان بن حسان بن جليلج، طبقات الأطباء والحكماء، تحقيق فؤاد سيد، مطبوعات المعهد العلمي الفرنسي للأكار الشرقية بالقاهرة، نصوص وترجمات؛ ١٠ (القاهرة: المعهد العلمي الفرنسي للأكار الشرقية، ١٩٥٥)، ص ٤٢.

لم يشتهر فقط كشاعر ومنجم، بل أنه قام بمحاولات للطيران في قصر الرصافة في قرطبة (عما يذكرنا بمحاولات مماثلة جرت في إنكلترا في القرن الحادي عشر قام بها الراهب إير دو مالمسبروري (Bilmer de Malmesbury). كما أدخل عباس بن فرناس تقنية جديدة لقطع البلور الصخري (الكريستال)، وبنى قبة فلكية (نوعاً من البلاتيناريوم) في إحدى غرف منزله، كما صنع كرة فلكية محلاة أهداها لعبد الرحمن الثاني، وأخيراً صنع ساعة مائية ذات حركة آلية. هذه الساعة «الميكاتنة» أو «الميكاتنه» كانت تسمح بتحديد أوقات الصلاة الشرعية عندما لا تكون الشمس أو النجوم ظاهرة للعيان، وقد أهداها إلى الأمير محمد<sup>(٣٧)</sup>.

لقد كان عباس بن فرناس وجهاً استثنائياً في إطار القرن التاسع. ولم يكن عالماً بالفعل ولكنه كان جليساً للأمرء، موهوباً، يتمتع بفضول علمي موسوعي ويعرف كيفية استخدام معارفه. أما التطور الحقيقي للعلم في الأندلس فقد جرى في القرن التالي ولا سيما في النصف الثاني منه، حيث منجد:

١ - تقويماً شعبياً هو «تقويم قرطبة»، الذي يحوي أولى الشهادات المعروفة عن علم «الميكات» الأندلسي.

٢ - تطور «علم عقاقير» أصيل.

٣ - مدرسة مسلمة في مدريد، التي شكلت نقطة انطلاق علم الفلك الإسباني - العربي.

#### ١ - تقويم قرطبة<sup>(٣٨)</sup>

قام بهذا التقويم الطبيب والمؤرخ عريب بن سعيد<sup>(٣٩)</sup> والأسقف المستعرب ربيع بن زيد (Reconmund) وذلك لصالح الحكم الثاني، قبيل (أو بعد) توليه الخلافة (٩٦٠م).

(٣٧) انظر: Juan Vernet, «La Supervivencia de la astronomía de Ibn al-Bannā», *Al-Qantara*, vol. 1 (1980), pp. 447 - 451, et «Mármol, obra de Zarquel» dans: *Hommage à Georges Vajda* (Louvain: [s. n.], 1980), pp. 151 - 154.

(٣٨) انظر: R. Arib Ibn Sa'īd al-Qurtubī, *Le Calendrier de Cordoue*, publié par R. Dozy, nouvelle édition accompagnée d'une traduction française annotée par Ch. Pellat, *Medieval Iberian Peninsula, Texts and Studies*, v. 1 (Leiden: E. J. Brill, 1961), et José Martínez Gázquez and Julio Samsó, «Una nueva traducción latina del Calendario de Córdoba (siglo XIII)» in: Vernet, éd., *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII*, pp. 9 - 78.

(٣٩) حول هذه الشخصية، انظر: A. C. López, «Vida y obra del famoso polígrafo cordobés del s. X 'Arib Ibn Sa'īd'» in: E. García Sánchez, éd., *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios* (Granada: [s. pb.], 1990), vol. 1, pp. 317 - 347.

ونستطيع أن نجد في هذا المؤلف خليطاً عجيباً من التقاليد المختلفة: التقليد اليوناني والتقليد المستعرب (حيث نجد استنادات إلى أعياد القديسين المسيحيين وإلى الممارسات الزراعية الاعتيادية في إسبانيا) والتقليد العربي الجاهلي (حيث نجد التنبؤات والأرصاء الجوية المبينة على نظام «الأقواء»<sup>(٤٠)</sup>؛ وأخيراً نجد التقليد اليوناني - الإسكندري (حيث نجد إشارات تتعلق بالحكمة الغذائية ينسبها النص إلى مدرسة أبقرات وجالينوس والتي تتوافق تماماً مع كتاب الأهلدية لأبقرات)<sup>(٤١)</sup>.

ولكننا نجد أيضاً في هذا التقويم ظهوراً لعلم الفلك الجديد الذي أثبت به الثقافة العربية الإسلامية والذي يستند إلى التقليد الهندي - الإيراني وإلى التقليد البطلمي. فنص التقويم يقدم لنا زمن دخول الشمس في الأبراج الإثني عشر حسب كتاب السنهنت وحسب كتاب أصحاب الممتحن. وقد استطعنا أن نتحقق بأن الأول هو كتاب الزيج للخوارزمي وأن الثاني قد يكون زيج البتاني<sup>(٤٢)</sup>.

ومن ناحية أخرى، نجد في هذا التقويم سلسلة كاملة من القيم العددية، تظهر أن الأندلس في القرن العاشر قد عرفت تقليداً في «علم الميقات»<sup>(٤٣)</sup>، معروضاً للمرة الأولى في هذا التقويم. فالنص يحتوي على:

(١) ثلاثة وعشرين ارتفاعاً زوالياً للشمس، موزعة على مدار السنة، تتناسب مع خط العرض 30°؛ 37° (وهو مأخوذ لقرطبة ومسجل في إحدى مخطوطات جداول طليطلة)، كما تتناسب مع انحراف قدره 50°؛ 23° (وهي الرقم المدور للقيمة: 20°؛ 51°؛ 23° البطلمية).

(٢) الظلال المقابلة للارتفاعات الزوالية السابق ذكرها، المحسوبة على أساس أن طول شاخص المزولة، g، يساوي الوحدة (g = 1)، ذلك لأن ارتفاع الشاخص المستخدم يساوي قامة الرجل. ويبدو أن هذه القيم مشتقة من جدول توجد فيه g بقيمة 12 (g = 12). وقد تكون مشتقة من جدولين من النوع نفسه، يحتمل أن احتسابهما قد تم استناداً إلى علم الحساب، أحدهما يعطي الظل الذي يقابل دخول الشمس في الأبراج، أما الآخر فيعطي

(٤٠) Julio Samsó, «La Tradición clásica en los calendarios agrícolas hispanoárabes y norteafricanos», paper presented at: Segundo Congreso Internacional de Estudios sobre las Culturas del Mediterráneo Occidental (Barcelona: [n. pb.], 1978), pp. 177 - 186.

(٤١) Juan Vernet, «La Ciencia en el Islam y Occidente», in: Vernet, Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval, pp. 21 - 60 and especially pp. 28 - 30.

(٤٢) King, «Three Sundials from Islamic Andalusia», انظر: حول التقليد الأندلسي للميقات، انظر: pp. 358 - 392.

وحول رؤية الهلال الجديد، انظر: David A. King, Islamic Mathematical Astronomy, Variorum Reprint; CS 231 (London: Variorum Reprints, 1986).

الظل الذي قابل مرورها في وسط كل برج .

(٣) أربع وعشرين قيمة (قيمتان للشهر الواحد) تقابل طول النهار وطول الليل على مدار السنة . وهذه القيم قد تم احتسابها باستخدام الوسائط نفسها (جمع وسيط، بارامتر . . (لترجم)) المذكورة أعلاه، استناداً إلى علم المثلثات وهي إجمالاً صحيحة .

(٤) ثمان وعشرين قيمة لمدة الفسق . وسلسلة القيم هذه هي الأكثر إثارة للدهشة ؛ فيبدو أنها احتسبت تبعاً لقوس انخفاض شمسي قيمته 17° وباستخدام صيغة تقريبية شبيهة بصيغة براهماغوتا :

$$t = \frac{D}{\cotg h + 1}$$

نجد إذن في تقويم قرطبة إحدى الشهادات العديدة على تأثير التقليد الفلكي الهندي - الإيراني في الأندلس، هذا التأثير الذي سنؤكد عليه فيما سيتبع . ومن جهة أخرى، فإن سلاسل القيم الرقمية الأربع المذكورة تستخدم وسائل بمستويات شديدة التفاوت بحيث تطرح علينا مسألة المصادر التي استقى منها مؤلفا هذا التقويم، ذلك لأن أياً من عريب بن سعيد أو ربيع بن زيد لم يكن فلكياً . وقد يكونان قد استخدموا جداول ميقات لخط العرض 30° ؛ 37° الذي قد يكون خط عرض مدينة أخرى غير قرطبة وتقع على خط العرض نفسه<sup>(٤٣)</sup> .

## ٢ - تطور علم عقائير أصيل

قد يكون بالإمكان الكلام عن علم للعقائير في الأندلس قبل خلافة عبد الرحمن الثالث . ولكن عهده عرف حدثاً هاماً . فلقد كان كتاب المادة الطبية لديوسقوريدس (Dioscoride) في متناول أطباء الأندلس، عبر ترجمته العربية التي قام بها في الشرق إسطفان بن باسيل . لكن، لم يكن بإمكان هؤلاء الأطباء التعرف إلى الأعشاب الطبية التي وردت أسماءها في هذا الكتاب . وفي العام ٩٤٨م، تلقى الخليفة عبد الرحمن الثالث من امبراطور بيزنطية (قسطنطين السابع) خطوطاً رائعة من كتاب ديوسقوريدس، مزينة بالصور . لكن القراء لم يستطيعوا فهمها لأنها مكتوبة باليونانية، ولم يكن في قرطبة من يفقه اليونانية في ذلك الوقت . لذلك وبناء على طلب الخليفة، بعث الإمبراطور البيزنطي بالراهب نيكولا الذي ساعد فريقاً من أطباء الأندلس على إعادة النظر المنهجية بمصطلحات علم النبات المستخدمة في الترجمة العربية لكتاب ديوسقوريدس . وهكذا تم تعرف أطباء

(٤٣) انظر : Julio Samsó, «Sobre los materiales astronómicos en el *Calendario de Córdoba* y en su versión latina del siglo XIII.» in: Vernot, éd., *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X*, pp. 125 - 138.

الأندلس إلى أغلب أسماء النباتات الطبية الواردة في هذا الكتاب<sup>(٤٤)</sup>.

كان لهذا الحدث نتائج هامة منها الانطلاقة التي عرفها علما العقاقير والنبات الأندلسيان، هذه الانطلاقة التي بدأت بعيد مراجعة كتاب ديوسقوريدس التي كان أول مظاهرها إنجاز كتاب ابن جلجل في علم النبات الذي سبق أن ذكرناه مرات عديدة. فلقد تعرف ابن جلجل على مساعدي الراهب نيكولا وعجل بكتابة مؤلف حول الأعشاب الطبية التي تم تحديدها ومؤلف آخر حول الأدوية التي لم يأت ديوسقوريدس على ذكرها<sup>(٤٥)</sup>. إضافة إلى ذلك، يقال إن وجود الراهب المذكور في قرطبة، قد يكون في أساس تكوين مدرسة من رجال العلم الأندلسي، يعرفون اليونانية، ربما كان مسلمة الميريدي من بينهم. عند هذه المرحلة تكون، إذن، قد بدأت تظهر أولى بوادر النضج الطبي الأندلسي؛ ولا بد هنا من التنويه باسم عريب بن سعيد الذي كتب في حوالى العام ٩٦٤م رسالة في علم القبالة (فن التوليد) وفي طب الأطفال، تحتوي أيضاً على أوائل الكتابات الأندلسية في التنجيم الطبي، وهو ما يشكل دليلاً على انتشار مؤلفات أرسطو البيولوجية في الأندلس. لكن أعمال أبي القاسم الزهراوي (المولود ما بعد ٩٣٦ والتوفي حوالى عام ١٠١٣م) في هذا المجال تعتبر أهم بكثير من أعمال ابن جلجل. ومن بين هذه الأعمال، كتاب التصريف الذي يحتوي على أهم رسالة في علم الجراحة عرفتها القرون الوسطى على امتدادها؛ كما يحوي رسالة في علم العقاقير يستخدم فيها تقنيات خبرية متقدمة قد يكون أخذها عن العطارين المصريين أو عن العراقيين الذين حافظوا على وسائل، وتقنيات، تقاليد ما بين النهرين. ويمرّز مؤلفه في علم العقاقير على أهمية نظرية لأنه، انطلاقاً من نظرية أبقرات المتعلقة بخلط النوعيات العلاجية الأربعة (البرودة - السخونة - الرطوبة - النشاف) ومن نظرية جالينوس عن درجات هذه النوعيات، طرح مسألة نسب، ومقادير، الأعشاب التي تدخل في تكوين علاج مركب. لذلك فهو قد يكون مطلعاً على كتاب الكندي<sup>(٤٦)</sup> ذي العنوان اللاتيني *De medicinarum compositarum gradibus*.

---

(٤٤) انظر: Juan Vernet, «Un tractat d'obstetrícia astròlogica», in Vernet, *Estudios sobre la Historia de la Ciencia Medieval*, pp. 273 - 300; Meyerhof, «Requise d'histoire de la pharmacologie et botanique chez les musulmans d'Espagne», pp. 1 - 41, et César B. Dubler and B. Terés, *La «Materia Médica» de Dioscórides: Transmisión medieval y renacentista*, 5 vols. (Barcelona: [Tipografía Emporium], 1953 - 1957).

(٤٥) انظر: I. Garjjo, «El tratado de Ibn Juljul sobre los medicamentos que no mencionó Dioscórides», in: García Sánchez, éd., *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios*, vol. 1, pp. 57 - 70.

(٤٦) انظر: Sami Khalaf Hamarneh and Glenn Sonnedecker, *A Pharmaceutical View of Abulcasis (al-Zahrāwī) in Moorish Spain, with a Special Reference to the «Adhan»*, Janus,

### ٣ - مدرسة مسلمة المجرطي

يمتثل مسلمة في تاريخ علم الفلك المكانة التي يحتلها أبو القاسم في تاريخ الطب. وقد ولد في مدريد ودرس في قرطبة حيث توفي سنة ١٠٠٧ م. وكنتمج مشهور، عرف بأنه تنبأ بسقوط الخليفة كما تنبأ ببعض تفاصيل الحياة السياسية التي سبقت ما سمي «الفتنة». ولكن مكانته العلمية المميزة تعود بشكل خاص إلى تعديله لجداول الخوارزمي وتكييفها، بحيث أصبح يشار إليها غالباً بـ *زيج الخوارزمي - مسلمة*. ولقد سبق وتحدثنا عن إدخال السلجوقيين وعلى الأرجح حسب صيغته الخوارزمية، إلى الأندلس خلال خلافة عبد الرحمن الثاني. إن هذا النص المعروف في إسبانيا من خلال صيغته المنقحة الأولى الحالية من البراهين كان موضوع تعديل وتكييف من قبل مسلمة وتلميذه ابن الصغار المتوفى عام ١٠٣٤ م. وإننا نعرف هذا التكييف بفضل الترجمة اللاتينية التي قام بها أدلار دو باث (Adélar de Bath)<sup>(٤٧)</sup>، وليس التقويم الدقيق لإسهامات الفلكيين الأندلسيين في هذا *الزيج*، عملية سهلة. فنص الخوارزمي الأصلي يبدو أنه مفقود. لذلك لا نستطيع سوى محاولة إعادة تركيبه باستخدام المعطيات المحفوظة في شروحات ابن المنثى<sup>(٤٨)</sup>، وفي كتاب *Liber de rationibus tabularum* لأبراهام بن عزرا<sup>(٤٩)</sup>، أو في نصوص مشابهة مثل الكتاب في حلل

Suppléments; v. 5 (Leiden: B. J. Brill, 1963).

وفي ما يتعلق بنظرية الدرجات [نظرية درجات الكيفيات أو الأدوية] للكندي وتأثيرها في أوروبا القرون الوسطى، انظر مقدمة M. R. McVaugh في: M. R. McVaugh, *Aphorismi de gradibus*, éd. M. R. McVaugh (Granada; Barcelona: [n. pb.], 1975).

(٤٧) انظر: Heinrich Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muhammed Ibn Mūsā al-Khwāzmi in der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Madjriti und der latein. Übersetzung des Athelhard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Björnbo und R. Besthorn in Kopenhagen...* hrsg und Kommentiert von H. Suter (Kopenhagen: A. F. Hest and Son, 1914), and Otto Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwāzmi*, translated with commentary of the latin version (Copenhagen: [n. pb.], 1962).

(٤٨) انظر: Ahmad Ibn al-Muthannā: *El comentario de Ibn al-Muthannā a las tablas astronómicas de al-Jwārizmī*, Estudio y edición crítica del texto latino, en la versión de Hugo Sanctallensis, por Eduardo Millás Vendrell (Madrid, Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Asociación para la Historia de la Ciencia Española, 1963), and Ibn al-Muthannā's *Commentary on the Astronomical Tables of al-Khwāzmi*, two hebrew versions, edited and translated, with an astronomical commentary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 2 (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1967).

(٤٩) انظر: Abraham ben Meir Ibn Ezra, *El libro de los fundamentos de las Tablas astronómicas*, éd. crítica, con introducción y notas por José M<sup>a</sup>. Millás Valliçrosa (Madrid: [n. pb.], 1947).

الزيجات للهاشمي<sup>(٥٠)</sup>. ولقد أثبتنا في كتاب الزيج هذا وجود مواد تعود إلى التقليد الهندي - الإيراني ومواد تعود إلى التقليد اليوناني - العربي وأخرى تعود إلى التقليد الإسباني. ونستطيع، كموقف مسبق، أن نعتبر أن المواد الهندية - الإيرانية تعود إلى الصيغة البدائية للزيج، أي إلى جداول الخوارزمي. لكن هذا الاستباق ليس صحيحاً دائماً، وخاصة فيما يتعلق بجدول الحركة المتوسطة؛ ذلك لأن الوسائط (الحسابية) المترجم (الأساسية) هي من أصل هندي، بينما نجد أن وضعية الجداول المنقولة تشكل تعديلاً شكلياً هاماً ينسب عادة إلى مسلمة. فالجداول البدائية تستخدم السنين الشمسية الفارسية والتاريخ الذي بدأت منه هو بداية عهد يزجرج الثالث (١٦/٦٣٢م). لكن الجداول المحفوظة تستخدم السنة القمرية الإسلامية وتبدأ من تاريخ بداية الهجرة (ظهر يوم ١٤/٧/٦٢٢م). ونشير إلى تدخل مسلمة في جداول الكسوفات<sup>(٥١)</sup>، وكذلك في جداول حساب خطوط عرض الكواكب على الرغم من أن نتائجه لم تكن براقية في الحالة الأخيرة هذه<sup>(٥٢)</sup>. ونجد أنفسنا في وضع مشابه فيما يتعلق بالجزء من الزيج المتأثر ببطلميوس. فلقد كان الخوارزمي، من جهة، معاصراً للخليفة المأمون، أي أنه عاش في عصر كان فيه كتاب المجسطي وكتاب زيج بطلميوس معروفين جيداً. ومن جهة أخرى، يتكون أحياناً لدينا انطباع، مدعم بشكل أو بآخر، بأن المادة الأصلية (أي جداول الخوارزمي) كانت عرضة للتعديل والتطوير من قبل مسلمة، أو من قبل أحد غيره.

ولقد تعرضت بعض جداول علم الثلاث لتعديلات مشابهة، ومنها جدول الجيب (sinus) الذي يوجد محسوراً على أساس أن نصف القطر يعادل ٦٠ جزءاً، وهذا الجدول هو حصيلة قسمة جدول الأوتار في المجسطي بالعدد اثنين. كل هذا يناقض شهادة ابن اللثني الذي يؤكد أن قيمة نصف القطر المستخدمة في جداول جيب الخوارزمي هي ١٥٠ جزءاً.

ونستطيع أيضاً أن نفترض مساهمة مسلمة في جميع مواد الزيج المتأثرة بالتقليد الإسباني، مثل التلميح إلى العصر الإسباني (عام ٣٨ ق.م.) وهو التاريخ الذي نجده في القسم من الزيج، المتعلق بالسلسلة التاريخي، ومثل استعمال خط الزوال العائد لقرطبة في بعض الجداول، كذلك العائدة لتحديد التقاء الشمس والقمر أو تقابلهما - والجداول الأخيرة هذه مشتقة من الجداول الأصلية وعدلها مسلمة. ومن بين الجداول المتأثرة بـ «التقليد الإسباني» التي ساهم فيها مسلمة نجد أيضاً جداول الحركة المتوسطة لعقدة القمر الصاعدة، هذه الجداول التي تحوي جدولاً إضافياً لخط زوال قرطبة للفترة الواقعة بين

(٥٠) انظر المرجع المعادة للهاشمي ضمن قائمة المراجع.

(٥١) انظر: David Pingree, «The Indian and Pseudo - Indian Passages in Greek and Latin

Astronomical and Astrological Texts», *Vistor*, vol. 7 (1976), p. 165.

(٥٢) انظر: Edward Stewart Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences* (Beirut: American University of Beirut, 1983), pp. 125 - 135.

عامي ٩٧٠ و ١١٧٤م<sup>(٥٣)</sup>. ونجد كذلك مثلاً مشابهاً في جداول إسقاط الشعاعات (أنصاف القطر (المترجم)) (projectio radii stellarum) التي تحتل تقريباً خمس ما يحتلته من الزيج مجموع الجداول الرقمية. وجداول الإسقاط هذه محسوبة بالنسبة إلى خط العرض 30° ; 38 (قرطبة)، ولا تطابق جداول الخوارزمي الأصلية التي حفظها المنجم الشرقي ابن هبتا (بغداد، حوالي ٩٥٠م). ولقد برهن هوجنديك (Hogendijk) في بحث حديث جداً أن مسلمة قد أدخل تحسينات على الوسائل الحسابية للخوارزمي، ذلك لأن جداول الفلكي القرطبي تعطي نتائج صحيحة ولأنها أكثر سهولة في الاستعمال من جداول الخوارزمي<sup>(٥٤)</sup>.

لكن إعادة بعض التعديلات لمسلمة تشكل أحياناً معضلة، بحيث لا بد من أن نفترض تدخل أياد أنت بعد مسلمة. هذه مثلاً هي حالة الجداول المتعلقة برؤية الهلال التي تركز على نظرية هندية في الرؤية والمحسوبة بالنسبة إلى خط عرض هو 35° ; 41 الواقع بعيداً إلى شمال قرطبة. وقد يكون خط العرض هذا عائداً لسرقسطة، لذلك فقد تكون هذه الجداول قد أدخلت في القرن الحادي عشر حيث عرفت العلوم الصحيحة نهضة كبيرة في هذه المدينة<sup>(٥٥)</sup>.

ولم تقتصر أعمال مسلمة المتعلقة بالجداول الفلكية على زيج الخوارزمي. ففي كتاب طبقات الأسم يقول صاعد الطليطلي إنه «انكب على مراقبة الكواكب وثابر على فهم كتاب المجسطي لبطلميموس... وأنه كان مؤلفاً لموجز عن زيج البتاني يعالج معادلة الكواكب»<sup>(٥٦)</sup>.

هنا نجد إذن، ثلاثة أقوال يجب معالجة كل منها على حدة:

أ - بخصوص رصد النجوم، نستطيع أن نذكر بشهادة الزرقالي الذي يؤكد أن مسلمة رصد النجم «قلب الأسد» عام ٩٧٩م وأنه أثبت أن خط طوله هو 40° ; 135. وهذه القيمة تطابق قيمة خط طول هذا النجم الموجودة في الجدول الصغير لواحد وعشرين نجماً، وهو جدول يرافق تعليقاته على كتاب تسطيح الكرة (Plantsphère) لبطلميموس<sup>(٥٧)</sup>. ولقد

(٥٣) انظر: Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwarizmi*, pp. 61, 63, 95, 108 and 110.

Kennedy [et al.], *Ibid.*, pp. 372 - 384.

(٥٤) انظر:

(٥٥) انظر: المصدر نفسه، ص ١٥١ - ١٥٦، و King, *Islamic Mathematical Astronomy*.

(٥٦) انظر: Šā'id Ibn Aḥmad al-Andalusī, *Kitāb Ṭabakāt al-Umam (Livre des catégories des nations)*, traduction avec notes et indices précédée d'une introduction par Régis Blachère (Paris: Larose, 1935), pp. 129 - 130.

(٥٧) أنظر: José María Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel (Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto «Miguel Asín», Escuelas de Estudios Árabes de Madrid y Granada, 1943 - 1950)*, pp. 310 - 311, and Paul Kunitzsch, «Two Star Tables from Medieval Spain», *Journal for the History of Astronomy*, vol. 11 (1980), pp. 192 - 201.



استخدم مسلمة تحديد خط طول هذا النجم لكي يقوم بحركة اعتدالية قيمتها  $10^\circ$  ;  $13$  بالنسبة إلى لائحة النجوم الواردة في المجسطي. وهذا التعديل هو الذي مكّنه من تحديد خطوط الطول لما تبقى من نجوم هذه اللائحة.

ب - إننا لا نعرف شيئاً عن أعمال مسلمة التي انطلقت من المجسطي (الذي يبدو أن تلميذه ابن السمع قد كتب نسخة ملخصة عنه). لكن من البليغي أن للمجسطي كان معروفاً جيداً في مدرسة مسلمة، فمدرسته لم تهتم فقط به السنهيد. ففي كتابه عن استخدام الأسطرلاب يذكر ابن الصغار كتاب الجغرافيا لبطلميوس. وفي المخطوطة اللاتينية ذات الرقم ٢٢٥ والمائلة إلى ريبول (Ripoll) (والمرجح أنها من القرن الحادي عشر، كما من المرجح أنها متأثرة بمدرسة مسلمة)، نجد ترتيباً للمناخات الأرضية قد يكون اعتمد وسائل المجسطي أو طرق الجغرافيا<sup>(٥٨)</sup>.

ج - إننا لا نعرف أيضاً ما استفاد مسلمة من زيچ البتاني، مع أن طبعة نالينو (Nallino) لهذا الزيچ تحوي ستة جداول منسوبة إلى مسلمة، وهي على الأرجح مغلوطة. غير أنه من الواضح أن مدرسة مسلمة عرفت جيداً إنجاز البتاني. ذلك لأن ابن السمع في رسالته حول بناء الصفيحة الجامعة لتقويم الكواكب يستعمل واسط البتاني في خطوط طول أوج الكواكب. أما قيم الانحرافات وقيم شعاعات أفلاك التدوير، فتشتق إما من البتاني أو من المجسطي<sup>(٥٩)</sup>.

ومن ناحية أخرى، قام مسلمة بتنقيح كتاب تسطيح الكرة لبطلميوس. وأخذاً بعين الاعتبار العلاقات التي قد تكون حصلت بين مسلمة والراهب نيكولا، وبالتالي احتمال أن يكون هذا الفلكي قد درس اليونانية، يوجد إجماع بأن مسلمة قد يكون قام بترجمة هذا الكتاب. لكنه قد يكون قام بتنقيح إحدى الترجمات العربية الشرقية لهذا الكتاب مضيفاً إليها بعض الشروحات والتعليقات. ولم تحفظ الأيام الأصل اليوناني لكتاب بطلميوس هذا، لذلك فإن مساهمة مسلمة في تعديله هي مسألة لا يمكن حلها قبل أن ندرس بمجمل المواد التي بحوزتنا بهذا الخصوص وهي:

(٥٨) R. Marti et M. Viladrich, «Las tablas de climas en los tratados de astrolabio del manuscrito 225 del scriptorium de Ripoll» *Llull*, vol. 4 (1981), pp. 117 - 122.

ولقد أطلعنا حديثاً على مخطوطة اسطنبول قُرَّأه (Carullah) (١٢٧٩) التي تحوي كتاب الهيئة لقاسم بن مَطْرُوف (حوالي عام ٩٥٠)، حيث نجد لائحة بقيم للمسافات بين الكواكب، تبدو مأخوذة من كتاب الفرضيات لبطلميوس.

(٥٩) Julio Samsó, «Notas sobre el ecatatorio de Ibn al-Samh» in: Vernet, éd., *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X*, pp. 105 - 118.

(١) صيغة مسلمة لكتاب تسطيح الكرة والموجودة في ترجمة لاتينية قام بها هرمان الدالائي (Hermann le Dalmathe) (١١٤٣م)<sup>(٦٠)</sup> وفي ترجمة عبرية؛

(٢) ترجمة عربية سابقة لمسلمة؟ محفوظة في مخطوطة<sup>(٦١)</sup>؛

(٣) تعليقات مسلمة على كتاب تسطيح الكرة، المترجمة والمنشورة جزئياً<sup>(٦٢)</sup>.

يحتوي النص الأخير هذا على سلسلة إضافات على كتاب بطليموس هي:

- ثلاث وسائل جديدة لتقسيم دائرة كسوف الأسطرلاب (ونشير إلى أن بطليموس يعطي فقط وسيلتين لهذا التقسيم).

- ثلاث طرق أيضاً لتقسيم الأفق مشابهة لتلك التي قدمها لتقسيم دائرة الكسوف. ويكون بهذا قد سد نقصاً موجوداً في كتاب بطليموس.

- ثلاث طرق لتحديد موضع نجوم العنكبوت الثابتة على الأسطرلاب، مستخدماً فيها إحداثيات دائرة الكسوف، وإحداثيات أفقية وإستوائية.

وفي قسم ثانٍ من هذا العمل، يستخدم مسلمة أدوات الوحيدة في علم المثلثات في سبيل حل المثلثات الكروية القائمة الزاوية. وأداته هذه هي مبرهنة منلاوس التي سبق له أن كتب حولها عدة ملحوظات لا زالت محفوظة حتى الآن في ترجمة لاتينية<sup>(٦٣)</sup>. وفي هذا القسم يهتم مسلمة بتحديد الصعود المستقيم لابتداء كل من الإشارات البرجية الفلكية، مستخدماً في ذلك طريقة مشابهة لتلك التي سبق وعرضها لتقسيم الأفق انطلاقاً من الصعودات المستقيمة. ويهتم أيضاً بتحديد الميل الزاوي لكوكب ما، ويحدد بلوغ الأوج لكوكب في السماء (وهنا يستعمل بعض صيغ البتاني)؛ ثم يدرس درجة فلك البروج الذي يشرق أو يغيب مع كوكب ما. وأخيراً يعطي جدول «انحناءات» النجوم الثابتة بالنسبة إلى

---

(٦٠) انظر: Joseph Dreyer, «Das Planisphaerium des Claudius Ptolemaeus», *Isti*, vol. 9 (1927), pp. 225 - 278.

(٦١) انظر: «Ptolemy», in: *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970 - 1990), vol. 11, pp. 186 - 206.

(٦٢) انظر: Juan Vernet and M. A. Catala, «Las obras matemáticas de Maslama de Madrid», in: Vernet, *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval*, pp. 241 - 271.

(٦٣) انظر: Axel Anthon Björnbo and Heinrich Suter, *Thabit's Werk über den Transversalensatz (Liber de figura sectoris)* (Briegman: M. Mencke, 1924), pp. 23 - 24, 39, 79 and 83.

خط العرض 30° ; 38 (قرطبة)، بينما نجده، في القسم الأول من هذا العمل، يعالج أحد الأمثلة حيث خط العرض هو 39°.

إن شروحات مسلمة هذه لكتاب تسطيح الكرة، لا تشكل بتاتاً رسالة حول صناعة الأسطرلاب، لكنها كانت من دون شك ذات تأثير في المؤلفات الأندلسية التي تعالج بناء هذه الآلة. ولقد كان لها تأثيرها، خاصة في رسالة القونس العاشر<sup>(٦٤)</sup> المتعلقة بهذا الموضوع، وكذلك في الرسالة المنسوبة خطأ إلى ما شاء الله<sup>(٦٥)</sup>. إننا نحكم في هذا الأمر، انطلاقاً من العمل الهام لـ بول كونييتش (Paul Kunitzsch)<sup>(٦٦)</sup> حيث تم البرهان على أن ما سمي رسالة ما شاء الله حول بناء واستخدام الأسطرلاب هو في الواقع تجميع جرى في القرن الثالث عشر لعناصر غير متجانسة إطلاقاً توجد بينها مقاطع يمكن أن تكون لها علاقة بمدرسة مسلمة. وهذه المدرسة تتمثل فيما يتعلق بالأسطرلاب بشروحات مسلمة المذكورة هنا ورسالة لابن الصغار حول استعمال الأسطرلاب<sup>(٦٧)</sup> - نالت رواجاً وشهرة بسبب اقتضاها وطابعها العملي - ورسالة أخرى لابن السمع أكثر إطالة من السابقة<sup>(٦٨)</sup>. وللنص الأخير هذا، من جهة أخرى، أهمية بالغة، وذلك لسببين: أول هذين السببين أنه يحتوي على استشهادات تعود إلى عمل غير معروف للفلكي الشرقي حبش الحاسب (حوالي

---

(٦٤) انظر: Mercos Viladrich: «On the Sources of the Alphonse Treatise Dealing with the Construction of the Plane Astrolabe», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6 (1982), pp. 167 - 171, and Ramon Martí, «En torno a los tratados hispánicos sobre construcción de astrolabio hasta el siglo XIII», in: Vernet, éd., *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII*, pp. 79 - 99.

(٦٥) انظر: Julio Samso: «Maalima al-Majriti and the Alphonse Book on the Construction of the Astrolabe», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 4, no. 1 (Fall 1980), pp. 3 - 8; «Notas sobre la trigonometría esférica de Ibn Mu'ad», *Awraq*, vol. 3 (1980), pp. 60 - 68; «Tres notas sobre astronomía hispánica en el siglo XIII», pp. 167 - 179, and «Alfonso X y los orígenes de la astrología hispánica», in: *Estudios sobre Historia de la Ciencia árabe*, editados por Juan Vernet (Barcelona: Instituto de Filología, Institución «Mila y Fontanals», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1980), pp. 81 - 114.

(٦٦) انظر: Paul Kunitzsch, «On the Authenticity of the Treatise on the Composition and Use of the Astrolabe Ascribed to Messahalla», *Archives Internationales d'histoire des sciences*, vol. 31 (1981), pp. 42 - 62.

(٦٧) انظر: José M<sup>a</sup>. Millás Vallicrosa, «Los primeros tratados de astrolabio en España», *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos*, vol. 3 (1955), pp. 55 - 76.

(٦٨) انظر: Mercos Viladrich: *El Kitāb al-ʿamal bi-l-astarlāb (Libro de l'ús de l'astrolabi) d'Ibn al-Samhī*, Edició i Traducció (Barcelona: [n. p.], 1986), and «Dos capítulos de un libro perdido de Ibn al-Samhī», *Al-Qantara*, vol. 7 (1986), pp. 5 - 11.

٨٣٥ م) حول الأسطرلاب، مما يشكل أولى الشهادات حول اطلاع الأندلسيين على أعمال هذا الكاتب. أما السبب الثاني فهو أن مرسى فيلادريتش (Merse Viladrich) برهن أن كتاب ابن السمع هو المصدر الذي استخدمه معاونو ألفونس العاشر ليكتبوا رسالة حول استعمال الأسطرلاب الكروي؛ فلقد اعتمدوا رسالة في الأسطرلاب المستوي معدلين فيها ومكيفين تبعاً لمتطلبات الأسطرلاب الكروي، وذلك بسبب عدم توفر نص عربي بهذا الخصوص يمكن ترجمته<sup>(٦٩)</sup>.

ولقد شهد القرن العاشر مستجدات أخرى في مجال صناعة الأجهزة الفلكية. إن أقدم المزاول (الساعات الشمسية) التي حفظتها الأيام تعود إلى ذلك العصر<sup>(٧٠)</sup>، وأحد هذه الأجهزة منسوب صراحة إلى ابن الصفار (وهو إما الفلكي المذكور سابقاً وإما أخوه محمد وهو صانع أسطرلابات كما يفيد صاعد الأندلسي). لكن العيوب الهامة التي تشوب هذه المزولة تجعل من الصعب تقبل فكرة كونها من صنع هذا الفلكي الكفاء وتدعو إلى الظن بأنها مبنية «على طريقة ابن الصفار» بواسطة حرفي غير دقيق. ومن جهته، كان ابن السمع كاتب أول عمل معروف حول صناعة الصفائح الجامعة لتقويم الكواكب. والجهاز الذي رسمه هذا الفلكي يتألف من ثماني لوحات (الوحة للشمس وست لوحات للقمر ولللكواكب الخمسة وواحدة لأفلاك التدوير الكوكبية) توضع في أم الأسطرلاب<sup>(٧١)</sup>. وتحتوي لوحات الأفلاك الحاملة لللكواكب، إضافة إلى الرسم البياني الهندسي، على جداول الحركات المتوسطة في خط الطول وفي خاصة الكوكب (الخاصة هي سير الكوكب في

(٦٩) انظر: Merse Viladrich, «Una nueva evidencia de materiales árabes en la astronomía alfonsí», in: *De Astronomia Alphonsti Regis* (Barcelona: [n. pb.], 1987), pp. 105 - 116.

(٧٠) انظر: King, «Three Sundials from Islamic Andalusia», pp. 358 - 392; C. Barrolo et A.

Labarta, «Ocho relojes de sol hispano-musulmanes», *Al-Qantara*, vol. 9 (1988), pp. 231 - 247, et, and J. Carandell: «An Analemma for the Determination of the Azimuth of the Qibla in the *Risāla fi 'ilm al-ẓilāl* of Ibn al-Raqqām», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*, Bd. 1 (1984), pp. 61 - 72, and «Trazado de las curvas de oración en los cuadrantes horizontales en la *Risāla fi 'ilm al-ẓilāl* of Ibn al-Raqqām», *Dynamis*, vol. 4 (1984), pp. 23-32.

(٧١) انظر: M. Comas, *Ecuatorios - and andalusíes, Ibn al-Samh, al-Zarqālūh y Abū-l-Ḥalt* (Barcelona: [n. pb.], 1991), pp. 27 - 68; Emmanuel Poulle, *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Équinoxes et horlogerie planétaire du XIII<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle, hautes études médiévales et modernes*, 42, 2 vols. (Paris: Dröz - Champion, 1980), vol. 1, pp. 193 - 200, et Samsó, «Notas sobre el ecuatorio de Ibn al-Samh», pp. 105 - 118.

حيث توجد بعض الهفوات التي أشار إليها ج. ل. مانشا (J. L. Mancha) في: *De Astronomia Alphonsti* (I. L. Mancha) مانشا (J. L. Mancha) في: *De Astronomia Alphonsti*, pp. 105 - 117.

فلك التدوير (الترجم)؛ وهذا ما يذكرنا بـ **زيج الصفائح** لأبي جعفر الخازن (توفي بين ٩٦١ و٩٧١)<sup>(٧٢)</sup>. والزيج الأخير هذا، يمكن أن يوجد على صفائح الأسطرلاب - الصفيحة الجامعة. لذلك فقد يكون أصل هذا النوع من الأجهزة شرقياً. ويبقى السؤال في هذا الصدد مطروحاً بانتظار اكتشاف عناصر جديدة.

## ثالثاً: ذروة انطلاق العلم الأندلسي (القرن الحادي عشر للميلاد)<sup>(٧٣)</sup>

وصل العلم الأندلسي في القرن العاشر إلى مستواه الإنتاجي ونال بعض رجال العلم الأندلسيين شهرة حتى في الشرق. ومن هؤلاء، أبو القاسم الزهراوي ومسلمة المجريطي الذي ذكر ابن الشاطر في مقدمة كتابه نهاية السؤل، أنه من بين نقاد بطليموس<sup>(٧٤)</sup>. ولكن انكسارات النجاحات العلمية في الأندلس ازدادت كثيراً بدءاً بالقرن الحادي عشر للميلاد. فالمؤلف الذي كتبه العالم الزراعي الأندلسي ابن بصال صار معروفاً جداً في اليمن حيث استعمل العاهل رسول الملك الأفضل في القرن الرابع عشر، النسخة الكاملة من كتاب **القصد والبيان**، بذل الصيغة الموجزة التي وصلت إلينا<sup>(٧٥)</sup>. ونستطيع ذكر الكثير من أمثلة من هذا النوع. لكننا سنقتصر على تلك التي تظهر تأثير الأسطرلابات الشاملة، التي طورها في القرن الحادي عشر، الفلكيان علي بن خلف والزرقالي. و«صفيحة» هذا الأخير، بصيغتها «الزرقالية» - وهي الجهاز الأكثر تطوراً، و«الشكازية» - وهي الصيغة المبسطة، كانت معروفة جيداً في الشرق الأدنى، حيث ظهرت صيغ متطورة للصيغة

(٧٢) انظر: David A. King, «New Light on the *Zij al-Safat* of Abū Ja'far al-Khāzin», *Centaurus*, vol. 23 (1980), pp. 105 - 117.

(٧٣) هذا القسم من عرضنا هو ملخص من مقال: Juan Vernet and Julio Samsó, «Panorama de la ciencia andalusí en el siglo XI», paper presented at: *Actas de las Jornadas de Cultura Árabe e Islámica (1978)* (Madrid: [n. pb.], 1981), pp. 135 - 163.

وانظر العمل الأكثر حداثة لـ: Lutz Richter - Bernburg, «Sā'id, the Toledan Tables and Andalusī Science», in: David A. King and George Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, *Annals of the New York Academy of Sciences*; v. 500 (New York: New York Academy of Sciences, 1987), pp. 373 - 401.

Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences*, p. 62.

(٧٤) انظر:

(٧٥) انظر: Robert Bertram Serjeant, «Agriculture and Horticulture: Some Cultural Interchanges of the Medieval Arabs and Europe», in: *Oriente e Occidente nel Medioevo: Filosofia e Scienze* (Roma: Accademia dei Lincei, 1971), pp. 535 - 541.

المبسطة المذكورة، حولاً نهاية القرن الرابع عشر وبداية القرن الخامس عشر. وقد اتخذت هذه الصيغ شكل ربيعيات من النوع «الشكّازي» الذي استعمل من قبل فلكيي مرصد اسطنبول في القرن السادس عشر<sup>(٧٦)</sup>.

وقد تطور المستوى الثقافي في الأندلس بشكل هائل بعد الأزمة السياسية لسنة ١٠٣١م والتي لم تسبب في أزمة ثقافية. فلقد انبثقت ثلاثة مراكز ثقافية جديدة في سرقسطة وطليلة وإشبيلية. ومن ثم تنامت عملية تشريق الثقافة في الأندلس. ومثلاً على ذلك، وجد إلى جانب تقويم قرطبة، كتاب لعبد الله بن حسين بن عاصم الذي سمي الغربال (ت ١٠١٢م)<sup>(٧٧)</sup>، هو كتاب الأنواء والأزمنة ومعرفة أعيان الكواكب وهو كتاب يختلف تماماً عن تقويم قرطبة. فلقد سبق وذكرنا أن المؤلف الأخير هذا هو مزيج من عناصر ثقافية ثلاثة: عربية ومستعربة وهينستية؛ لكن العنصر العربي في كتاب ابن عاصم يسيطر بشكل واضح، وقراته تذكر به كتاب الأنواء لابن قتيبة أكثر من أي نص آخر في الموضوع نفسه.

ولقد شكل ذلك القرن مرحلة غدت فيها الثقافة المستعربة من مخلفات الماضي (مراجعة كتاب *Libro de las Cruzes* واستخدام العالم الزراعي ابن حجاج مصادر لاتينية في دراسته) كما أصبح طلاب الأندلس يرون أن بإمكانهم تحصيل ثقافة علمية مناسبة دون الحاجة

---

(٧٦) انظر: Julio Samsó et M. A. Catala, «Un instrumento astronómico de raigambre zarqāli: El cuadrante shakkāzi de Ibn Ṭibūḡi», *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona*, vol. 13 (1971 - 1975), pp. 5 - 31, and David A. King: «An Analog Computer for Solving Problems of Spherical Astronomy: The Shakkāziya Qusdrant of Jamāl al-Dīn al-Marīdī-ni», *Archiv für Internationale d'Histoire des sciences*, vol. 24 (1974), pp. 219 - 242; «A Survey of Medieval Islamic Shadow Schemes for Simple Timereckoning», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 4 (1987); *Islamic Mathematical Astronomy*; «Universal Solutions in Islamic Astronomy», in: J. L. Berggren and Bernard Raphael Goldstein, eds., *From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe* (Copenhagen: [n. pb.], 1987), pp. 121 - 132; and «Universal Solutions to Problems of Spherical Astronomy from Mamluk Egypt and Syria», in: Farhad Kazemi and R. D. McChesney, eds., *A Way Prepared: Essays on Islamic Culture in Honor of Richard Bayly Winder* (New York: New York University Press, 1988), pp. 153 - 184.

وحول مصفحتي الزرقالي، انظر: Roser Puig: «Concerning the *qafṭha shakkāziya*», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 2 (1985), pp. 123 - 139; *Los tratados de construcción y uso de la azafsa de Azarquiel*, Cuadernos de Ciencias; 1 (Madrid: Instituto Hispano - Árabe de Cultura, 1987), and Al-Zarqālluh, *Al-Shakkāziya - Ibn al-Naqqāsh - Al-Zarqālluh*, Edición, traducción y estudio por Roser Puig (Barcelona: [n. pb.], 1986).

(٧٧) نُشرت المتخولة الوحيدة عام ١٩٨٥ من قبل: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften de l'Université J. W. Goethe - Frankfurt.

وقد يكون المؤلف الحقيقي لـ كتاب الأنواء يدعى محمد بن أحمد بن سليمان الطنجي وقد يكون ابن عاصم قد كتب ملخصاً لهذا الكتاب.

للسفر إلى الشرق. ولقد شهد على تطور المدارس المحلية في ذلك العصر، صاعد الطليطي في كتاب طبقات الأمم حيث يقدم من المعطيات ما يكفي لبناء «شجرة النسب» لدرستي مسلمة وأبي القاسم الزهراوي اللتين سيكون لهما بالغ الأهمية في تطور علوم الفلك والطب والزراعة في أندلس القرن الحادي عشر.

ومن جهة أخرى، يظهر الاستقلال عن الشرق بكل وضوح من خلال إحصاءات الأسفار التي قام بها مسلمو وادي الإبرة<sup>(٧٨)</sup>؛ ففي القرن العاشر كانت نسبة المسافرين المسلمين من هذه المنطقة إلى الشرق حوالي ٢٥ بالمئة، بينما لم تبلغ هذه النسبة سوى ١١ بالمئة في القرن الحادي عشر. لكن الأسفار إلى الشرق استمرت. وفي هذا المجال يورد صاعد الطليطي بعض المعطيات ذات الدلالة، ومنها مثلاً سفر مولا عبد الرحمن بن عيسى محمد (المتوفى عام ١٠٨٠م) والذي عاش في القاهرة حيث التقى ابن الهيثم.

إن إحدى الميزات الرئيسية للمقرن الحادي عشر الأندلسي هي تلك التي أبرزتها الدراسات الحديثة المعهد، التي تتمثل في تطور علم الرياضيات. ويعود الفضل في تطور هذا العلم إلى وجوه ثلاثة: الملك يوسف المؤمن (١٠٨١ - ١٠٨٥م) من «الطائفة» في سرقسطة والرياضي ابن سيد أستاذ الفيلسوف الكبير ابن باجه، الذي كتب أعماله في بلنسية بين عامي ١٠٨٧ و ١٠٩٦م، وأخيراً الفقيه الفلكي ابن معاذ (المتوفى عام ١٠٩٣م).

لم يكن معروفاً من عمل الرياضي الأول، للمؤمن، حتى عهد قريب، سوى عنوانه، الاستكمال وبعض الأسانيد غير المباشرة التي تدل على محتواه<sup>(٧٩)</sup>. لكن هذا الوضع تغير مع اكتشاف أربعة مقاطع من هذا الكتاب. إن هذه المقاطع تظهر<sup>(٨٠)</sup> أن كتاب الاستكمال ملخص ذكي لمصادر أخرى إضافة إلى بعض المساهمات الأصلية. ومن بين هذه المصادر يجب أن نذكر:

---

(٧٨) انظر أعمال: Juan Vernet and M. Grau, in: *Boletín de la Real Academia de Buenas*

*Letras de Barcelona*, vol. 23 (1950), p. 261 and vol. 27 (1957 - 1958), pp. 257 - 258.

(٧٩) انظر: J. Djebbar, «Deux mathématiciens peu connus de l'Espagne du XI<sup>e</sup> siècle: Al-

Mu'taman et Ibn Sayyid», (Paris, Université Paris - Sud, département de mathématique, 1984), (polycopie).

(٨٠) انظر: J. P. Hogendijk: «Discovery of an 11<sup>th</sup> - Century Geometrical Compilation: The

*Istikmāl of Yūsuf al-Mu'taman Ibn Hūd, King of Saragossa», Historia Mathematica*, vol. 13

(1986), pp. 43 - 52; «Le roi-géomètre al-Mu'taman Ibn Hūd et son livre de la perfection (*Kitāb al-Istikmāl*)»

papier présenté à: Premier colloque international sur l'histoire des mathématiques arabes (Alger: [s. n.], 1988), pp. 53 - 66, et «The Geometrical Parts of the *Istikmāl* of Yūsuf al-

Mu'taman Ibn Hūd (11<sup>th</sup> Century): An Analytical Table of Contents», (University of Utrecht,

Department of Mathematics, Reprint no. 626, November 1990), reprinted in: *Archives*

*internationales d'histoire des sciences*, vol. 41 (1991).

- كتاب الأصول وكتاب المعطيات لإقليدس؛
- كتاب أرخيلس حول الكرة والأسطوانة؛
- كتاب المخروطات لأبولونيوس؛
- كتاب الكرويات لنلاوس وكتاب الكرويات لثيودوس؛
- رسالة ثابت بن قرة حول «الأعداد المتحابة»؛
- تعليقات أوطوقوريوس على الكتاب الثاني لأرخيلس حول الكرة والأسطوانة؛
- كتاب للجسطي لبطلميوس؛
- كتاب للناسخ لابن الهيثم؛
- رسالة الإخوة «بني موسى» حول قياس الأشكال المسطحة والكروية.

لذلك، فإن مجموعة المعلومات والمواضيع التي يحويها الكتاب، تدل على المعارف المعمقة في الرياضيات العالية التي ملكها مؤلفه. ولقد قام ابن الميمون وتلاميذه في القاهرة بتدريس هذا الكتاب الذي كان معروفاً في بغداد حيث نشر، فيها، في القرن الرابع عشر.

أما أعمال الرياضي الثاني، ابن سيد، فلا نعرفها إلا عبر استشهادات غير مباشرة - وخاصة عبر استشهادات تلميذه ابن باجة - جمعها ع. الجبار. ولقد كتب ابن سيد رسالة في الأعداد التي تكتب على شكل متواليات حسابية. وهذا الأمر - إضافة إلى محتويات بعض أجزاء الاستكمال للمؤنن - يؤكد أن الأندلس قد عرفت قبل القرن الحادي عشر، تقليداً في البحث الحسابي كان منطلقه كتاب الحساب لنيقوماخوس الجرشي (Nicomachus de Gérase) الذي ترجمه ثابت بن قرة. لكن العمل الأهم لابن سيد الذي نعرف عنه بعض الشيء، هو في الهندسة. وفي هذا الكتاب يتبع تقليد كتاب المخروطات لأبولونيوس ومن ثم يدرس وجود وصفات المنحنيات المستوية ذات الدرجة الأعلى من اثنتين، التي لا تنتمي للقطوع المخروطية. كما يتم أيضاً، في هذا المؤلف، بمسألة تثليث الزاوية (تقسيمها إلى ثلاثة أقسام متساوية) وبمسألة إيجاد متوسطين متناسين بين عددين معينين.

لكن، من بين الرياضيين الثلاثة الذين سبق ذكرهم، فإن ثالثهم، ابن معاذ الجبائي، هو الذي يملك حوله الأكثر من المعلومات. فلقد نشر بلويج (Plooj) في العام ١٩٥٠، عمل الجبائي ذا العنوان مقالة في شرح النسبة<sup>(٨١)</sup>. وترتدي هذه المقالة أهمية كبرى لأنها

---

(٨١) انظر: Edward Bernard Plooj, *Euclid's Conception of Ratio and His Definition of Proportional Magnitudes as Criticized by Arabian Commentators (Including the Text in Facsimile with Translation of the Commentary on Ratio of Abū 'Abd Allāh Muhammad Ibn Mu'adh al-Djājjānī)* (Rotterdam: W. J. van Hengel, [1950]).



تشكل حلقة هامة في سلسلة الشروحات العربية لمفهوم الـ «ratio» الذي عرضه إقليدس في الكتاب الخامس من الأصول. وحسب مردوخ (Murdoch)<sup>(٨٢)</sup>، يعتبر هذا العمل شرحاً في غاية الحفاقة، يحتوي (خارج الرياضيات اليونانية) أول حالة معروفة، تدل على فهم تحديد مساواة النسب التي صاغها أودوكس (Budoxe). ومن ناحية أخرى، وفي عمل أكثر حداثة، ترجم ونشر م. ف. فيلوينداس (M. V. Villuendas) كتاب الجياني ذا العنوان كتاب مجهولات قسي الكرة<sup>(٨٣)</sup> الذي يعتبر دون شك الكتاب الأقدم الذي عرفته القرون الوسطى الغربية في موضوع علم الثلاث الكروي، الذي أصبح معه هذا العلم مستقلاً عن علم الفلك (لم يتضمن هذا الكتاب إشارة إلى علم الفلك إلا في مقدمته). ونستطيع أن نقدم أمثلة عن أعمال في الشرق، معادلة لهذا العمل. من هذه الأعمال كتاب مقاليد علم الهيئة للبيروني<sup>(٨٤)</sup> (لكننا نجد في هذا الكتاب اهتماماً بالغاً بالتطبيقات الفلكية)؛ ومنها كتاب تشریح الكرة لمحمد بن الحسن الجيوي (من القرن الحادي عشر على وجه الاحتمال)<sup>(٨٥)</sup>؛ ومنها كذلك كتاب جامع قوانين علم الهيئة (كاتبه مجهول وتاريخه غير محدد لكنه سابق لعام ١٢٣٤م)<sup>(٨٦)</sup>، وجميع هذه الأعمال كانت سابقة لـ كتاب شكل القطع لنصير الدين الطوسي.

إن الكتاب المذكور لابن معاذ يعالج حل الثلاث الكروية. وانطلاقاً من صيغة متلاوس، يقدم سبع مبرهنات، جديدة بالنسبة إلى إسبانيا المسلمة، لكنها معروفة، جميعها، في الشرق. وأغلب هذه المبرهنات قد تكون اكتشفت في خضم «ثورة علم الثلاث» التي جرت في نهاية القرن العاشر وبداية القرن الحادي عشر. وهذه المبرهنات هي: مبرهنة الجيب (sinus) وقاعدة الكميات الأربع ومبرهنة جابر (Geber) ومبرهنة جيوب التمام (cosinus) ومبرهنة الماسة (tangentes) والمبرهنات التالية (في مثلث ABG، قائم الزاوية G):

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\cos G}{\cos g}$$

(٨٢) انظر: «Euclid» in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 4, pp. 414 - 459.

(٨٣) انظر: M. V. Villuendas, *La Trigonometría europea en el siglo XI: Estudio de la obra de*

*Ibn Mu'ādh: El Kitāb maṣṣūlāt* (Barcelona: [n. pb.], 1979).

(٨٤) انظر: Abū al-Rayhān Muḥammad ibn Aḥmad al-Bīrūnī, *Kitāb māqālāt 'ilm al-hay'a: La*

*Trigonométrie sphérique chez les arabes de l'est à la fin du X<sup>e</sup> siècle*, édition, traduction et commentaire par Marie - Thérèse Debarnot (Damas: Institut français de Damas, 1985).

(٨٥) انظر: Marie - Thérèse Debarnot, «Introduction du triangle polaire par Abū Naṣr b.

'Irāq», *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 2, no. 1 (May 1978), pp. 126 - 136.

(٨٦) انظر: A. P. Youshelevitch, *Les Mathématiques arabes (VIII<sup>e</sup>-XV<sup>e</sup> siècles)* (Paris: Vrin, 1976), p. 175, note (81),

والراجع المذكورة.

$$\operatorname{tg} b \cos G = \operatorname{tg} a \sin B$$

$$\operatorname{tg} b \cos A = \operatorname{tg} g \sin B$$

هذه المجموعة تفتح الأبواب أمام علم مثلثات جديد يختلف تماماً عن ذلك الذي نجده في الحسابات الفلكية التي عرضها ابن معاذ نفسه، في جداوله المعروفة بـ «زيج الجياني» (Tabulae Jahen). إن بعض المعطيات الموجودة في نص كتاب للجداول تدعونا للتفكير بإمكانية تأثير مباشر لرياضيين شرقيين مثل أبي نصر وأبي الوفاء وغيرهم<sup>(٨٧)</sup>. ولكننا نجد أيضاً نتائج جديدة كحل المثلث باستخدام مثلث قطبي، وذلك بطريقة مستقلة عن تلك التي استخدمها أبو نصر<sup>(٨٨)</sup>. ولقد أثبت حديثاً مسألة تأثير ممكن لعمل ابن معاذ المذكور في كتاب *De triangulis* الذي ألفه ريجيومونتانوس (Régiomontanus)<sup>(٨٩)</sup>، على الرغم من أن طرق الانتقال غير واضحة. وكتاب للجداول يحوي أيضاً جدولاً للظلال حيث الشعاع مساوٍ للواحد ( $r = 1$ )، تم الحصول عليه، حسب المؤلف، بقسمة الجيب وجيب التمام لكل زاوية. وهذا الجدول قد احتسب من درجة إلى درجة ونحصل بسهولة على القيم المقابلة لكل درجة بواسطة جداول الجيب في زيج الخوارزمي - مسلمة. غير أن ابن معاذ يعطينا في آخر هذا الجدول قيم ظلال الزوايا  $15^\circ, 89; 30^\circ, 89; 45^\circ, 89; 59^\circ$  التي حصل عليها بطريقة الاستكمال التربيعي (Interpolation quadratique) وهي المرة الأولى التي تستخدم فيها هذه الطريقة في الأندلس. وقد استخدم ابن معاذ هذا النوع من الاستكمال في احتساب الجيب لزاويتين، وذلك في كتابه *كتاب الغسق* (*Liber de crepusculis*)<sup>(٩٠)</sup>.

ولقد توافقت النهضة الرياضية أيضاً مع نشاط كبير في البحث الفلكي. ولا بد من الإشارة، في هذا المجال، إلى محافظة كتاب السنهتند على مكانته المهيمنة. وفي ما يتعلق بالنهضة الفلكية، يؤكد صاعد الطليطلي على إنجازات مدرسة مسلمة كما على الأعمال التي

(٨٧) انظر: Samso, «Notas sobre la trigonometría esférica de Ibn Mu'adh», pp. 60 - 68.

(٨٨) انظر: Debarnot, «Introduction du triangle polaire par Abū Naṣr b. 'Irāq», p. 132, note (30).

(٨٩) انظر: Hairetdinova, «On Spherical Trigonometry in the Medieval Near East and in Europe», *Historia mathematica*, vol. 13 (1986), pp. 136 - 146.

(٩٠) انظر: Donos, *Liber de crepusculis*.

حيث يحسب ابن معاذ ارتفاع الجو باستخدام طريقة استخدمها في ما بعد مؤيد الدين القرشي وقطب الدين الشيرازي. انظر: Bernard Raphael Goldstein, «Ibn Mu'adh's Treatise on Twilight and the Height of the Atmosphere», *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 17 (1977), pp. 97 - 118, and George Saliba, «The Height of the Atmosphere According to Mu'ayyid al-Din al-Urdī, Qutb al-Din al-Shirāzī and Ibn Mu'adh» in: King and Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of R. S. Kennedy*, pp. 445 - 465.

قام بها آخرون، هو نفسه من بينهم. إن عدداً قليلاً من هذه الأعمال قد حفظ ودرس؛ ومنها الترجمة اللاتينية للقوانين التي كتبها ابن معاذ من أجل جداوله المعروفة بـ «زيج الجياني» (Tabulae Jahen)، المرتكزة على نظام السنهند والمحصوبة نسبة لإحداثيات مدينة جيان (Jaén) مسقط رأس هذا الفلكي<sup>(٩١)</sup>، والتي تحوي أيضاً معطيات أصيلة. ونشير إلى أن ابن معاذ، على خطى الخوارزمي، يضع الأوج الشمسي على  $55^\circ$  ;  $77^\circ$  من النقطة الزيمية، وأن هذا الوسيط سوف يستعمله الزرقالي في رسالته حول الصفيحة الجامعة<sup>(٩٢)</sup>.

إن جداول طليطة التي ابتدأ العمل فيها تحت إشراف القاضي صاعد، تبدو نتيجة عمل جماعي شارك فيه أبو اسحق بن الزرقالي (الذي سماه صاعد أيضاً «الزرقالي») وهو أهم عالم فلكي أندلسي عبر كل العصور. لكن دراسة هذه الجداول أصابت الباحثين بخيبة أمل. فقد أظهر تومر (Toomer)<sup>(٩٣)</sup> في تحليل له، أن الأصيل في هذه الجداول هو فقط تلك المتعلقة بالحركة المتوسطة، بينما يشتت الباقي إما من زيج الخوارزمي - مسلمة وإما من زيج البتاني. لكن بعضاً من الجداول المنسوبة إلى هذا الأخير قد تكون مشتقة مباشرة من بطليموس الذي يمكن رؤية تأثيره في جداول رجوع الكواكب وفي جداول إحداثيات النجوم. وأخيراً، فإن الجداول المتعلقة باحتساب امتزاز كرة النجوم الثابتة «الإقبال والإدبار» توجد أيضاً في كتاب *Liber de motus octave spere* المنسوب حتى عهد قريب إلى ثابت بن قرة. لكن هذه الجداول لا توجد إلا في بعض النسخ من كتاب *Liber de motu* المذكور، لذلك فقد تكون مستقلة عن هذا الكتاب، وعادة بالتالي إلى فلكي طليطة.

إن هذه المعطيات السلبية تدعونا لطرح بعض الاعتبارات. فالمعروف أن الزرقالي كرس خمساً وعشرين من سني عمره في رصد الشمس، الذي بدأه أولاً في طليطة ومن ثم في قرطبة<sup>(٩٤)</sup>. وكانت نتائج هذا العمل موجودة ضمن كتاب مفقود حول النظرية الشمسية استطاع تومر (Toomer) أن يعيد بناء بعض معطياته، في عمل دؤوب انطلقاً من مصادر غير مباشرة<sup>(٩٥)</sup>. ويرهن تومر خاصة، أن الزرقالي حدد في العام ١٠٧٤م وضعية الأوج

(٩١) انظر: H. Hermelink, «Tabulae Jahen», *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 2 (1964), pp. 108 - 112.

(٩٢) انظر: Comtes, *Ecutorios andalusies, Ibn al-Samh, al-Zarqālūh y Abū-l-Salt*, p. 92.

(٩٣) انظر: G. J. Toomer, «A Sarvey of the Toledan Tabulae», *Ostris*, vol. 15 (1968), pp. 5 - 174.

(٩٤) انظر: Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel*, p. 241.

(٩٥) انظر: G. J. Toomer, «The Solar Theory of az-Zarqāl: A History of Errors»,

■ *Centaurus*, vol. 14, no. 1 (1969), pp. 306 - 336, and «The Solar Theory of Az-Zarqāl: An

الشمسي ( $49^\circ$ ; 85) وأنه قدر حركتها الخاصة بدرجة واحدة خلال ٢٧٩ عاماً شمسياً. ومن جهة أخرى، فقد رسم هذا الفلكي أنموذجاً شمسياً ذا مراكز منحرفة متحركة (شبيهة بالفلك الحامل لمعطارد في الأنموذج البطلمي) وهذا الأنموذج يحدث إقبالاً وإدباراً في وضعية الأوج كما يحدث تغييراً في الانحراف المركزي للشمس. إن الأنموذج الشمسي نفسه استعمل أيضاً فيما بعد من قبل الفلكي كوبرنيكوس الذي أحل أيضاً (كما فعل الزرقالي) إقبال وإدبار الأوج. وهذا يدل على أن تبني هذا الأنموذج يعود بالدرجة الأولى إلى كونه يوافق تغيير قيم الانحراف الشمسي عن المركز التي وضعها الفلكيون منذ أيام هيباركوس. هذا وقد قام الزرقالي بالعمل البديهي المتمثل بقياس قيمة الانحراف الشمسي عن المركز في عصره (58؛ 1 جزءاً تقريباً).

من كل ما تقدم نستنتج أنه من الصعب التسليم بكون الزرقالي قد قام فقط بنقل جدول معادلة الشمس الموجود في زييج البتاني إلى جداول طليطة، في حين أن جداول الشمس في قانونه<sup>(٩٦)</sup> تعطي انحرافاً مخالفاً لانحراف البتاني وتقارب قيمة الوسيط المذكور (58؛ 1 جزءاً). إن كل هذا يتوافق مع فرضية ل. ريختر - بيرنبورغ (L. Richter-Bernburg) التي تقول بأن العمل في جداول طليطة بدأ في نهاية حياة القاضي صاعد (١٠٢٩ - ١٠٧٠م)، وفي كل حال، لم يبدأ إلا بعد أن أنهى هذا المؤلف كتابه طبقات الأمم (١٠٦٨م)، حيث لم يأت بتأثراً على ذكر الجداول<sup>(٩٧)</sup>. وقد يكون الزرقالي أدخل عناصر تعتمد على أرصاده الخاصة أو على أرصاد فريق صاعد، إلى جداول طليطة، لكن أغلبية أعماله حول النظرية الشمسية يحتمل أن يكون قد قام بها بعد أن تم تجميع الجداول. ومن الممكن أيضاً أن يكون الزرقالي قد قام بأعمال في علم الفلك الكوكبي، ذلك لأن رسالته حول بناء الصفيحة الجامعة (التي حفظت بفضل ترجمة قشتالية الفونسية) تعطينا أيضاً وسائل حسابية كوكبية لا تتطابق دائماً مع وسائل جداول طليطة<sup>(٩٨)</sup>؛ فلو كانت انحرافات المشتري والمريخ والقمر بطلمية، فإن انحرافات كل من زحل (23، 51؛ 2 جزءاً أو 48، 48؛ 2 جزءاً)، والزهرة (27، 03؛ 1 جزءاً) ومعطارد (26، 51؛ 2 جزءاً) تبدو أصيلة<sup>(٩٩)</sup>. لكن شهرة الزرقالي تعود

Epilogue» in: King and Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, pp. 513 - 519, and Julio Samsó, «Azarquiel e Ibn al-Bannā» in: *Relaciones de la Península Ibérica con el Magreb (siglos XIII - XVI)* (Madrid: [n. ph.], 1988), pp. 361 - 372.

(٩٦) كتاب القانون للزرقالي. (لترجم).

(٩٧) انظر: Richter - Bernburg, «Sā'id, the Tolosan Tables and Andalusī Science», pp. 373 - 401.

(٩٨) أو زييج طليطة. (لترجم).

(٩٩) انظر: Willy Hartner, «Ptolemy, Azarquiel, Ibn al-Shātir and Copernicus on Mercury».

«A Study of Parameters», *Archives Internationales d'histoire des sciences*, vol. 24 (1974), pp. 5 - 25.

إلى أعماله حول الشمس، التي يستحسن أن ننهي الحديث عنها بالإشارة إلى أن جداول برشلونة التي جمعت في عام ١٣٦٠م في عهد بطرس الرابع الأراغوني (Pierre d'Aragon)، تحوي جدولاً لمعادلة الشمس يبدو أنه مشتق من معادلة الزرقالي، وقد تكون احتسبت باستخدام الطريقة القديمة جداً المتعارف عليها بطريقة «الحل باليول الزاوية»<sup>(١٠٠)</sup>.

ولا بد أيضاً من أن نسجل أهمية رسالته حول حركة النجوم الثابتة المحفوظة في نسخة عبرية ترجمها ميلاس (Millás) إلى الأسبانية، ودرسها غولدشتاين (Goldstein)<sup>(١٠١)</sup>. في هذا العمل، يقدم لنا الزرقالي، بعد إجرائه تجارب عدة، نموذجاً لاضطراب متفرع من كتاب *Liber de motu* - ولكن بوسيطات جديدة - بحيث يضيف إليه، وبشكل مصطنع، نموذجاً ثانياً مستقلاً عن الأول، وذلك لكي يحسب ميل دائرة الكسوف بحيث يجعلها تتأرجح بين  $53^\circ$  و  $23^\circ$  (في بدء التاريخ المسيحي تقريباً) و  $33^\circ$  و  $23^\circ$  للسنة ٩٥٤ - ٩٥٥م. إن دراسة هذه القيم للميل والموجودة ضمناً في جداول الكتاب *Liber de motu*، تعطينا نتائج مقبولة لزمن بطليموس ولعصر الخليفة المأمون؛ لكن الدالة تأخذ قيمةً متعاطمة بسرعة بعد سنة ٨٨٧م. ونتيجة لذلك فهي تعطي قيمةً غير مقبولة لزمن الزرقالي. ولتصويب هذه الظاهرة الشاذة عمد الزرقالي إلى اختيار نموذج هندسي واعتماد جداول تتوافق مع ميول بطليموس وفلكيي الخليفة المأمون، لكي تعطي لعصره قيمةً معقولة ( $33^\circ$  و  $23^\circ$ ) حتى آخر سنة ١٠٧٤م.

وقبل أن نختم مع الزرقالي، يجب التنويه بزمجه<sup>(١٠٢)</sup> أيضاً، الذي استطاع بواسطته تحديد خط طول الشمس والكواكب، وعملياً من دون حساب، حيث استعمل السنوات -

= ويجب أن نشير إلى أن مدار عطارد في عالة (Equatoire) - الآلة المسماة الكرة الفلكية الملحقة - الزرقالي لم يعد دائرة بل شكلاً بيضاوياً (أو شكلاً نولة المصنوبر). انظر: Willy Hartner, *Oriens, Occidens*. Collectanea; 3 (Hildesheim: G. Olms, 1968).

انظر أيضاً: Comes, *Ecuatorios - andalusies, Ibn al-Samh, al-Zarqalluh y Abū-I-Salt*, pp. 114 ss. (١٠٠) انظر: Julio Samad, «Sobre el modelo de Azarquel para determinar la oblicuidad de la eclíptica», in: *Homenaje al Prof. Darío Cabanellas O.F.M. con motivo de su LXX aniversario* (Granada: [u. pb.], 1987), vol. 2, pp. 367 - 377.

(١٠١) انظر: المصدر نفسه، ص ٣٦٧ - ٣٧٧، و: Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquel*, pp. 243 - 245; Bernard Raphael Goldstein, «On the Theory of Trepidation According to Thābit b. Qurra and al-Zarqallu and Its Implications for Homocentric Planetary Theory», *Centaurus*, vol. 10 (1964), pp. 232 - 247.

(١٠٢) انظر: Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquel*, pp. 72 - 237, and Marion Boutelle, «The Almanac of Azarquel», *Centaurus*, vol. 12, no. 1 (1967), pp. 12 - 20.

وانظر التقرير المهم لـ: Noël M. Swerdlow, in: *Mathematical Reviews*, vol. 41, no. 5149 (1971), p.4.

الحدود البابلية. وهكذا فنحن هنا أمام أول مؤلف من هذا النوع في العصر الوسيط، وقد ترك أثره العميق في الغرب المسلم والمسيحي على حد سواء. وبامتناء الجداول الشمسية التي قد تكون من نتائج أرصاد الزرقالي نفسه، فإن ما تبقى من هذا العمل ليس إلا تطويراً وتكييفاً لتقويم يوناني تستطيع حصر تاريخه بين العامين ٢٥٠ و ٣٥٠م (واسم مؤلفه المفترض، أوماتيوس (Awmatus)، منوه عنه في النص). وقد يكون لهذا التقويم ترجمة عربية في القرن العاشر، قبل عمل الزرقالي. ولا يد من التنويه بأن النماذج الهندسية، وكذلك الوسائط الحسابية، التي يمكن استنتاجها من الجداول الكوكبية، تبدو ذات أصل بطلمي.

ولقد عرفت أندلس القرن الحادي عشر ازدهاراً في ميدان علمي ثالث هو ميدان الكيمياء والتقنيات. وفيما يتعلق بالكيمياء يجب التنويه بأهمية أبي مسلمة المجريطي الذي يحوي كتابه رتبة الحكيم، وصفاً لتجارب قام بها وتؤدي إلى نوع من الإحساس الحدسي «بمبدأ حفظ المادة»<sup>(١٠٣)</sup>. ومن جهة أخرى، فإن وجود تقليد أندلسي في ميدان علم الميكانيكا، أصبح أمراً معروفاً منذ حوالي عشر سنوات، وذلك بفضل اكتشاف كتاب الأسرار في نتائج الأفكار لأحمد، أو محمد بن خلف المرادي. وهذا الكتاب موجود في مخطوطة وحيدة، وتحوي هذه المخطوطة أيضاً ملحوظة بخط إسحق بن سيد، الفلكي الأول لألفونس العاشر<sup>(١٠٤)</sup>. غير أننا نعرف بشكل أفضل تطور التقليد الزراعي، الذي رسمت معالم تاريخه لوسي بولنز (Lucie Bolens)<sup>(١٠٥)</sup>. فلقد ظهرت مدرسة للعلوم الزراعية، أولاً في طليطلة في ظل حامية المأمون، وفيما بعد في إشبيلية في ظل حكم بني عباد، ضمت وجوهاً علمية في تسلسل زمني غير معروف بدقة، لكن يبدو أن مجمل نشاطات هذه الوجوه جرى على امتداد حوالي نصف قرن (١٠٦٠ - ١١١٥م)<sup>(١٠٦)</sup>. والنصوص المحفوظة في هذا المجال هي بأغلبها غير كاملة، وهي عبارة عن بعض

E. J. Holmyard, «Maslama al-Majriti and the Rutbatn'l - Hakīm» *Isti*, vol. 6, (١٠٣) انظر: no. 18 (1924), pp. 293-305.

Juan Vernet, «Alfonso X y la tecnología árabe» in: *De Astronomia Alphonsti Regis*, pp. 39 - 41.

Lucie Bolens, *Agronomes andalous du moyen âge, études et documents / publiés* (١٠٥) انظر: par le département d'histoire générale de la faculté des lettres de l'Université de Genève; 13 (Genève: Droz, 1981).

Vernet and Samsó, «Panorama de la ciencia andalusí en el siglo XI» انظر المراجع المذكورة في هذا الموقف وكذلك في: en el siglo XI».

وفي ما يلي لن نقدم سوى ما استجد من مراجع.

Attié, «L'Ordre chronologique probable des sources directes d'Ibn al-Aw- (١٠٦) انظر: wām» pp. 299 - 332.

الموجزات أو المختارات كتبها مؤلفون من شمال أفريقيا<sup>(١٠٧)</sup>. وفي هذا المجال يجب أن نذكر الطبيب ابن واند (٩٩٩ - ١٠٧٤م)<sup>(١٠٨)</sup> وابن بصال (وكلاهما من طليطلة) وأبا خير<sup>(١٠٩)</sup> وابن حجاج<sup>(١١٠)</sup> (وكلاهما من إشبيلية) والطفغاري<sup>(١١١)</sup> (الذي، بعد أن درس في إشبيلية تنقل بين عدة مدن في الأندلس وشمال أفريقيا). نضيف إلى هذه اللائحة اسم ابن العوام الذي عاش فيما بعد (لا بد أن كتابه يعود إلى نهاية القرن الثاني عشر) والذي لخص كل مساهمات المدرسة الأندلسية في هذا المجال<sup>(١١٢)</sup>.

تلقى علم الزراعة الأندلسي خليطاً من عدة تقاليد زراعية قديمة. فمن جهة أولى نجد التقليدين البابلي والمصري عبر كتاب الفلاحة النبطية لابن وحشية<sup>(١١٣)</sup>. ومن جهة ثانية نجد التقاليد القرطاجية والرومانية والهينسية التي مارست تأثيرها خاصة عبر الترجمة العربية لمجلدات *Geo-pontika* البيزنطية. إن المصادر الأندلسية تذكر عدداً هائلاً من المؤلفين المتميزين إلى مختلف هذه التقاليد، لكن هذا الذكر كان يتم بطريقة غير مباشرة في أغلب الأحيان. كما تذكر المصادر الأندلسية أيضاً مصادر أخرى مثل الفلاحة الرومية والفلاحة الهندية. والكتاب الأول (على الأقل) المنسوب إلى مؤلف يدعى قسطنس، يبدو أنه مزور وأنه من

---

B. García Sánchez, في ما يخص المصادر المخطوطة والمؤلفين المقترحين، انظر: «Problemática en torno a la autoría de algunas obras agrónomicas andalusíes», in: *Homenaje al Prof. Darío Cabanellas O.F.M. con motivo de su LXX aniversario*, vol. 2, pp. 333 - 341. (١٠٨) إن نسبة أحد المؤلفات الزراعية إلى هذا الكاتب كانت موضع نقاش، حيث نسب هذا المؤلف إلى أبي القاسم بن عباس النهراوي الذي قد يكون الطبيب والجراح المشهور من القرن الماشر، أبا القاسم خلف بن عباس الزهراري.

J. M. Carabeza, «Un agrónomo del siglo XI: Abū-l-Jayr», in: García Sánchez, (١٠٩) انظر: *Clencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios*, vol. 1, pp. 223 - 240. Attié, «Ibn Haǧǧāǧ émit-il polyglotte?» pp. 243 - 261; et J. M. Carabeza, (١١٠) انظر: «Aḥmad b. Muḥammad b. Ḥayyāy al-Ishbīlī: Introduccion, estudio y traduccion, con glosario» (Unpublished Ph. D. Thesis, University of Granada, 1988).

García Sánchez: «El tratado agrícola del granadino al-Ṭignarī», *Quaderni di Studi Arabi*, vols. 5 - 6 (1987 - 1988), pp. 278 - 291; «Al-Ṭignarī y su lugar de origen», *Al-Qantara*, vol. 9 (1988), pp. 1 - 11, and «Agricultura y legislación islámica: El prólogo del *Kitāb Zuhrat al-Bustān* de al-Ṭignarī», in: García Sánchez, éd., *Clencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios*, vol. 1, pp. 179 - 193.

J. A. Binaueri, *Libro de Agricultura* (Madrid: [n. pb.], 1802), réimprimé avec (١١٢) انظر: une étude de B. García Sánchez et J. E. Hernandez Bermejo (Madrid: [n. pb.], 1988).

M. El-Faiz, «Contribution du Livre de l'Agriculture Nabatéenne à la formation de l'agronomie andalouse médiévale», in: García Sánchez, éd., *Clencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios*, vol. 1, pp. 163 - 177.

صناعة علي بن محمد بن سعد<sup>(١١٤)</sup>، في حوالى النصف الثاني من القرن العاشر. ومن ناحية أخرى، وكما أشرنا في الفقرة الأولى من هذا العرض، فإن المؤرخين منذ نهاية القرن الثامن عشر وكزوا على التأثير المباشر للتقليد الزراعي اللاتيني.

يبدو، إذن، أن علم الزراعة الأندلسي استند إلى أدبيات هامة في علوم الزراعة كانت في متناول الكتاب في القرن الحادي عشر. لكنه، إضافة إلى ذلك، لم ينفصل قط عن التجربة أو عن تقليد حدائق علم النبات الذي بدأ في القرن الثامن في قرطبة واستمر حتى القرن الحادي عشر في طليطلة وإشبيلية. كما تجدر الإشارة إلى مظهر ثالث من مظاهر علم الزراعة، وهو الجهد النظري الذي بذله علماء الزراعة الأندلسيون لكي يجعلوا من هذا الميدان علماً بكل معنى الكلمة. ولتحقيق هذه الغاية، ارتكزوا على علمين آخرين أكثر تطوراً هما: علم النبات وصناعة العقاقير من جهة، وعلم الطب من جهة أخرى. وأول هذين الميدانين العلميين وصل إلى أوجه في الأندلس مع كتاب همدة الطبيب في معرفة النبات لكل ليبي، الذي لا يعرف اسم مؤلفه، والذي كتب في القرن الحادي عشر أو في الثاني عشر<sup>(١١٥)</sup>. ونجد في هذا الكتاب محاولة رائعة لتصنيف منهجي للنباتات وذلك بتقسيمها إلى «جناس» و«أنواع» و«أصناف». وهذا التصنيف يعتبر أرقى بكثير من أنظمة التصنيف الشائعة بين علماء النبات منذ أرسطو وتيوفراست. وحتى وإن لم نجد تأثيراً صريحاً لهذا الكاتب النباتي المجهول الاسم على علماء الزراعة الأندلسيين، يجب أن نشير إلى أن هؤلاء اهتموا بشكل واضح بمسألة تصنيف النباتات. فنجد مثلاً، أن ابن بصال يشير إلى أن التطعيم لا يتم إلا بين نباتات من طبيعة واحدة ويقدم، على هذا الأساس، بياناً تصنيفياً للنباتات حسب عائلاتها؛ كما نجد جهوداً مشابهة في أعمال ابن العوام.

ويبدو الطب، كما علم النبات، متصلاً بعلم الزراعة منذ نشأة هذا الميدان العلمي في الأندلس. فلقد نسب إلى أبي القاسم الزهراوي كتاب في الزراعة. وإن كون هذه النسبة موضعاً للنقاش حالياً، لا ينفي واقع أن ابن الوافد والطغفاري كانا طبيبين. لذلك فليس من المستغرب أن يكون علماء الزراعة الأندلسيون قد بنوا نظرية تبدو على ارتباط وثيق بنظرية الأخلاط لأبقراط وجالينوس. فالأخلاط الأربعة للجسم الإنساني (الصفراء، والسوداء، والبلغم، والدم) قد استبدلت بعناصر أمياذوكليس الأربعة (التراب، والماء، والهواء، والنار) وحل السماد مكان النار. ولكل من هذه العناصر الأربعة ميزتان تتودان إلى تقليد كلاسيكي (التراب بارد وجاف؛ الماء رطب ويارد؛ والهواء حار ورطب)، باستثناء السماد (حار ورطب، خلافاً للنار الحارة والناشفة). وتقول نظرية الأخلاط أن

(١١٤) انظر: Bachir Attié, «L'Origine d'al-Falāḥa ar-Rūmīya et du Pseudo - Qosṭās», *Hesperis - Tamuda*, vol. 13, fascicule unique (1972), pp. 139 - 181.  
(١١٥) انظر: Miguel Asín Palacios, «Averrope Botánico», *Al-Andalus*, vol. 5 (1940), pp. 255 - 299.



الجسم الإنساني يكون سليماً عندما يكون هناك توازن بين الأخلط الأربعة، وبأن المرض يظهر عندما يختل توازن أحدها بالنسبة للآخرى. ولقد طبق المبدأ نفسه في الزراعة، التي تستخدم أيضاً نظام تكاملية عناصر العلاج مع جسم المريض.

ويصف علماء الزراعة الأندلسيون وطريقة دقيقة للغاية لأخلطاً مكيفة حسب المسألة المطروحة ومبررة نظرياً بناءً على خصائص التربة. فالتربة، الباردة والناشئة بطبيعتها، لا يمكنها أن تثمر إلا بتلقي الحرارة (من الشمس والهواء وكذلك من السماد) والرطوبة (من الماء). ويقوم أولئك العلماء الزراعيون بتصنيف مفصل للتربة ويبدلون مجهودات جديدة لاستصلاح أراضي كانت تعتبر حتى ذلك الوقت غير صالحة للزراعة، معتمدين فقط على النشاط البشري. إضافة إلى ذلك، فقد تصدوا للتقليد الكلاسيكي الذي يحمل التربة السوداء مشيرين إلى أهمية هذه التربة الغنية بالمواد العضوية. إننا نجد أيضاً تصنيفات واقعية لمختلف أنواع المياه كما نجد وصفاً للتقنيات الضرورية من أجل حيسها واستخدامها<sup>(١١٦)</sup>: الأقينية<sup>(١١٧)</sup>، الآبار، والنواعير<sup>(١١٨)</sup>. وتلح النصوص أيضاً على أهمية الحرارة التي توصل الهواء والحرارة إلى الجذور وعلى تقنيات الاعتناء بالتربة (إراحة الأرض، تنارب المزروعات - عدم تكرار زراعة الصنف نفسه في الأرض نفسها). وهنا يلعب السماد دوراً أساسياً، ونفع مرة أخرى على محاولات لتصنيف مختلف أنواع السماد، وعلى صيغ مفصلة تعطي أخلطاً ملائمة لحاجات التربة وللمزروعات المقصودة. وعلى العموم فقد بلغت الزراعة الأندلسية، حسب لومس بولنز مستوى تقنياً رفيعاً لم يتجاوزه الأوروبيون إلا في القرن التاسع عشر مع تطور علم الكيمياء. وفي هذا المجال يستحسن التذكير بأن مؤلف ابن العوام في علم الزراعة قد ترجم إلى الإسبانية، ومن ثم إلى الفرنسية عند منتصف القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر. ونشير إلى أن هاتين الترجمتين قد أنجزتا لا بدافع علمي يحد إنما لأغراض تطبيقية. ولا بد من الإشارة إلى أهمية التقنيات الموجودة في هذا الكتاب بالنسبة إلى تطور الزراعة في إسبانيا والجزائر.

---

(١١٦) انظر: Thomas F. Glück, *Irrigation and Society in Medieval Valencia* (Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 1970).

(١١٧) انظر: Jaime Oliver Asín, *Historia del nombre «Madribo»* (Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Miguel Asín, 1959), and Henri Gobiol, *Les Qanats: Une technique d'acquisition de l'eau, industrie et artisanat*; 9 (Paris; New York: Mouton, 1979).

(١١٨) انظر: Leopoldo Torres Balbás, «Las norias fluviales en España», *Al-Andalus*, vol. 5 (1940), pp. 195 - 208, and J. Caro Baroja, «Norias, azudas, aceñas», *Revista de Dialectología y Tradiciones Populares*, vol. 10 (1954), pp. 29 - 160.

## رابعاً: القرن الفلسفي

لقد كان القرن الحادي عشر الميلادي، من دون شك، القرن الذهبي للعلم الأندلسي، لكن القرن الذي تلاه شهد بداية انحطاط بطني. ومحاولات التوحيد السياسي التي جرت في ظل عهد المرابطين (١٠٩١ - ١١٤٤م) ومن ثم في ظل عهد الموحدين (١١٤٧ - ١٢٢٢م)، لم تتسبب دافعاً بحماية النشاطات الثقافية ورعايتها، ولا يغير في هذا الواقع كون أشهر الفلاسفة (ابن باجة، ابن طفيل، ابن رشد) أطباء عند الحلقاء الموحدين، قاموا بأبحاث في ظل حمايتهم. وخلال هذه المرحلة الطويلة تنامي تأثير الفقهاء في ظل الموحدين، مما لم يساعد على تسهيل البحث في علم الفلك، وما خلق من جهة أخرى مناخاً غير مشجع لعدد من العلماء العاملين في مجالات العلوم الدقيقة، ومنهم موسى بن ميمون (Maimonide) الذي عاش في مصر منذ العام ١١٦٦م وحتى وفاته في العام ١٢٠٤م. ومنهم أيضاً أبو السلط أمية الداني (بين ١٠٦٧ و ١١٣٤م) الذي جعلته إقامته التعيسة في مصر (١٠٩٥ - ١١١٢م) يكتب تعليقات فيها الكثير من الاحترار لمعارف الفلكيين والأطباء المصريين<sup>(١١٩)</sup>. كما يبدو أن وصول المرابطين إلى السلطة كان سبباً في ذهاب الرحالة الذي لا يعرف الكلل أبي حامد الغرناطي (١٠٨٠ - ١١٦٩م) إلى الشرق. نشير إلى أن رسالة أبي حامد في علم الأرض (Cosmographique) وهي للمغرب عن بعض عجائب المغرب كان الأحرى بها أن تحمل في عنوانها كلمة «المشرق» بدل كلمة «المغرب». فهذا النص يحوي كمية كبيرة من عناصر علم الميقات، التي للأسف لا تعود إلى الأندلس إنما إلى طبرستان<sup>(١٢٠)</sup>.

وتبدو تطورات بعض الفروع العلمية في هذا العصر متواصلة مع اتجاهات القرن السابق. فمناذ القرن العاشر مشى علم النبات وعلم العقاقير الأندلسيان على خطى ديوسقوريدس مع وجود بعض المستجدات أحياناً. فقد كتب الطبيب ابن بكلاريش وهو كاتب من أوائل القرن، رسالة في علم العقاقير هي للمستعيني ضمنها فصلاً في علم الطب على شكل جداول شاملة، على طريقة ابن بطالان وابن جزلة. وهو من جهة أخرى، قد حلل أبو القاسم الزهراوي، فاهتم بمسألة، عولجت فيما بعد من قبل ابن رشد تنفرد من مسألة للكندي. وهذه المسألة هي احتساب «درجة» علاج مركب من عدة عناصر

(١١٩) انظر: A.L. de Prémare, «Un andalou en Egypte à la fin du XV<sup>e</sup> siècle: Abū-l-Ṣalt de Dénia et son épitre égyptienne», *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire*, vol. 8 (1964 - 1966), pp. 179 - 208.

(١٢٠) انظر: «Abu Hāmid», in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 1, pp. 29 - 30. ولقد كان «المغرب» موضوع أطروحة دكتوراه لم تشر بعد قلمها إ. بيجارنو (I. Bejarno) في برشلونة عام ١٩٨٧، تحوي تحقيق النص وترجمته إلى الإسبانية.

بسيطة لها خصائص و«درجات» مختلفة<sup>(١٢١)</sup>.

إلا أن علم العقاقير الأندلسي اهتم غالباً بالمسائل التي سبق وطرحها في القرنين السابقين. فابن بابويه، وهو مؤلف اللوحة الإضافية (*Addenda*) المكمل لأعمال ابن واند في علم العقاقير، التي يبدو أنها مفقودة، قد كتب حول مسألة تصنيف النبات<sup>(١٢٢)</sup>. كما أن ابن ميمون، في كتابه، شرح أسماء العقار، عاد وطرح مجدداً مسألة المصطلحات النباتية<sup>(١٢٣)</sup>، وهذه المسألة كانت نقطة انطلاق الأبحاث التي جرت في قرطبة حول الترجمة العربية لكتاب ديسقوريدس كما كانت منطلقاً لأبحاث ابن جلدج. وقد مهد كتاب آخرون مثل الغافقي<sup>(١٢٤)</sup> وأبي العباس النبطي (حول ١١٦٦ - ١٢٤٠م)<sup>(١٢٥)</sup> الطريق للإنجاز التركيبي الكبير الذي أنهاه في القرن التالي ابن البيطار. فقد كتب هؤلاء المؤلفون رسائل ذات صفات موسوعية في علم العقاقير ابتغوا من خلالها جمع معارف ديسقوريدس وابن جلدج إلى معارف التقاليد اللاحقة، مضيفين إليها مساهماتهم الشخصية التي تتعلق، طبعاً، بالنباتات الموجودة في شبه الجزيرة الإيبيرية. إضافة إلى ما سبق نشير إلى أن هذا القرن شهد ظهور كتاب ابن العوام العظيم، ذي الصفة التركيبية، في مجال العلوم الزراعية الأندلسية.

لم تكن روح الرصد العلمي، إذن، غائبة تماماً في هذا العلم الأندلسي في القرن الثاني

---

H. P. J. Renaud, «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. I. Les Ibn Bâqir», *Hesperis*, vol. 24, 1<sup>er</sup> - 2<sup>e</sup> trimestres (1937), pp. 1 - 12.

M. Levey, in: *Studia Islamica*, vol. 6 (1969), pp. 98 - 104, and : أنظر أيضاً الأعمال الأكثر حداثة : *Journal for the History of Medicine*, vol. 26 (1971), pp. 413 - 421.

ولقد نشر م. ليفي (M. Levey) وس. س. سوريال (S. S. Souryal) ترجمة انكليزية مقدمة المستعيني تحوي جميع الأقسام النظرية لهذا العمل. وهذه الترجمة منشورة في: *Janus*, vol. 55 (1968), pp. 134-166. وقد نشر أ. لابارتا (A. Labarta) ترجمة مفصلة لهذه المقدمة في: *Estudios sobre Historia de la Ciencia árabe*, pp. 181 - 316.

A. Labarta, in: *Actas del IV Coloquio Hispano-Turcico*، انظر: (Madrid: [a. pb.], 1983), pp. 163 - 164.

Asín Palacios, «Avempace Botánico», pp. 255 - 299.

(١٢٢) انظر :

Max Meyerhof, «Un glossaire de matière médicale de Maïmonide», dans: (١٢٣) انظر: *Mémoires présentés à l'Institut d'Égypte* (Le Caire: [a. n.], 1940), vol. 41.

Max Meyerhof and G. P. Sobhy, eds. and tra., *The Abridged Version of The Book of Simple Drugs of Alḥmad Ibn Muḥammad al-Ghāfilī by Gregorius Abū Ṭ - Farag* (Barhebraus) (Cairo: [a. pb.], 1932 - 1940).

A. Dietrich, «Quelques observations sur la matière médicale de Dioscoride parmi les arabes», in: *Oriente e Occidente nel Medioevo: Filosofia e Scienze* (Roma: Accademia dei Lincei, 1971), pp. 375 - 390.

عشر، وذلك حتى عند المفكرين التأمليين كابن رشد (١١٢٦ - ١١٩٨م)، الذي أشير مرات عديدة إلى اهتمامه بمراقبة الطبيعة<sup>(١٢٦)</sup>، وإلى بعض الأصالة في تقديم عناصر علم التشريح في كتابه كتاب الكليات (Colliget) حيث لا يتردد في تصحيح ما لزم من مصادره أو في استخدام بعض الأدلة المبنية على الملاحظة (بـ «الحس»)<sup>(١٢٧)</sup>. وفي الواقع، يبدو أن ابن رشد كان مهتماً بالملاحظات الفلكية البسيطة كتلك التي أجراها على النجم سهيل في مراكش عام ١١٥٣م، وهو نجم لا يرى من شبه الجزيرة الإيبيرية؛ نشير هنا إلى أنه استخدم حجة شبيهة بحجة أرسطو المشهورة، مستنتجاً منها كروية الأرض<sup>(١٢٨)</sup>.

وقد ارتدت أرساد الكلف الشمسي المنسوبة إلى ابن رشد وابن باجه المزيد من الأهمية. وقد حلل هذان المؤلفان الأكلاف الشمسية بمرور عطارده والزهرة أمام الشمس<sup>(١٢٩)</sup>. إن هذا التعليل يؤدي من قبل هذين العالمين إلى نقد مواقف بطليموس وجابر بن أفلح حول ترتيب الكرات الكوكبية، وهي قضية كانت موضوع نقاش طويل في أندلس القرن الثاني عشر. وبالفعل، فقد كان تعليل بطليموس لعدم مرور هذين الكوكبين أمام الشمس يرتكز على كونهما سفليين لا يمكن أن يمرا بين الخط الذي يجمع ما بين الشمس وأعيننا<sup>(١٣٠)</sup>. ولقد

---

M. A. Alonso, «Averroes observador de la naturaleza», *Al-Andalus*, vol. 5 (١٢٦) انظر: (1940), pp. 215 - 230, and M. Cruz Hernandez: «El pensamiento de Averroes y la posibilidad del nacimiento de la ciencia moderna», paper presented at: *Actas del XII Congreso Internacional de Filosofía XI* (Florence: [n. pb.], 1960), pp. 76 - 77, and *Abū-l-Walīd Ibn Rushd: Vida, obra, pensamiento, influencia* (Córdoba: [n. pb.], 1986).

F. X. Rodríguez Molero, «Originalidad y estilo de la Anatomía de Averroes», (١٢٧) انظر: *Al-Andalus*, vol. 15 (1950), pp. 47 - 63,

Esteban Torre, *Averroes y la ciencia médica: La Doctrina*: *La Doctrina* التي درست أطروحائه من قبل: *anatomo-funcional del Colliget*, Ciencia y técnica; 21 (Madrid: Ediciones del Centro, 1974).

Ibn Rushd, *Kitāb al-Kulliyāt*, édition critique par J. M. Fornes et C. Alvares (١٣٠) انظر أيضاً: Morales (Madrid: [s. n.], 1987).

Léon Gauthier, *Ibn Rochd (Averroès)*, les grands philosophes (Paris: Presses universitaires de France, 1948), p. 5.

G. Sarton, «Early Observations of the Sun-Spots?» *Isis*, vol. 37 (1947), pp. 69 - 71; Aydin Mehmed Sayılı, *The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory*, Publications of the Turkish Historical Society; ser. 7, no. 38 (Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, 1960), pp. 184 - 185, and Bernard Raphael Goldstein, «Some Medieval Reports of Venus and Mercury Transits», in: Bernard Raphael Goldstein, *Theory and Observation in Ancient and Medieval Astronomy*, Variorum Reprint, CS 215 (London: Variorum Reprints, 1985), XV.

Claudius Ptolemaeus, *Almagest*, IX, 1.

(١٣٠)

كان تعليل بطليموس هذا موضع نقاش جدي، بحق، من قبل جابر ومن قبل البطروجي<sup>(١٣١)</sup>. ولكن جابر اقترح ترتيباً مغايراً للكواكب حيث اعتبر أن كلاً من عطارد والزهرة فوق الشمس. وإضافة إلى غياب مرورهما أمام الشمس كانت حجته الأساسية أن هذين الكوكبين لا يقعان على زاوية اختلاف مرئية عندما يكونان أقرب إلى الأرض من الشمس<sup>(١٣٢)</sup>. أما البطروجي فيقدم الترتيب التالي: القمر - عطارد - الشمس - الزهرة... الخ، ويرفض حجة المرور المذكورة لأنه يعتقد أن لعطارد كما للزهرة ضوءهما الخاص بهما، فلا يمكن بالتالي أن نلاحظ مرورهما أمام الشمس. انقسم فلكيو الأندلس في القرن الثاني عشر الميلادي بين مؤيد ومعارض لنظرية بطليموس الفلكية. فالمؤيدون، كأبي السلت الداني (نسبة إلى مدينة دانية (Denia)) (حوالي ١٠٦٧ - ١١٣٤م) وابن الكماد (في أوائل ذلك القرن) وابن الهائم (حوالي ١٢٠٥م) تبعوا تقليد الزرقالي. أما منتقدو بطليموس، فمنهم من انتقده من مواقع هي بالنتيجة بطلمية (مثل جابر بن أفلح) ومنهم من فعل انطلافاً من مواقع أرسطوطالية (مثل ابن رشد والبطروجي... الخ).

وفي مجال علم الفلك «المستقيم» (الأورثوذكسي، التقليدي (المترجم))، سنبداً بأبي السلت الداني الذي كتب في الأسطرلاب وفي الصفيحة الجامعة. ومقالته حول هذه الآلة الأخيرة هي النص الثالث من هذا النوع الذي حفظته الأيام بعد نصي ابن السمع والزرقالي. وهي تبدو توسيعاً لنص هذا الأخير حول الصفيحة الجامعة، لكن الوسائط المستعملة فيها بطلمية<sup>(١٣٣)</sup>. ولقد وضع ابن الكماد جداول فلكية لم تدرس إلا قليلاً، يظهر فيها بوضوح تأثير الزرقالي، على الأخص فيما يتعلق بالجداول الشمسية<sup>(١٣٤)</sup>. أما كتاب الزيج الكامل في التعاليم لابن الهائم الإشبيلي فهو مجموعة طويلة من القواعد (القوانين) خالية من الجداول الرقمية، نجد فيها يراهن هندسية جيدة الإتقان. وفي هذا الكتاب يبرز ابن الهائم كتلميذ أمين للزرقالي، ويعطي كمية كبيرة من المعلومات الجديدة

Nūr al-Dīn Abū Ishāq al-Bīrūnī, *On the Principles of Astronomy*, an edition of the (١٣١) arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic-hebrew-english glossary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7, 2 vols. (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971), vol. 1, pp. 123 - 125.

Richard P. Lorch, «The Astronomy of Jābir Ibn Aflah», *Centaurus*, vol. 19, انظر: (١٣٢) no. 2 (1975), pp. 85 - 107, and «Jābir Ibn Aflah» in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 7, pp. 37 - 39.

Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences*, pp. 481 - 489, and انظر: (١٣٣) Comes, *Euclerios - andalusies, Ibn al-Samh, al-Zarqāli y Abū-l-Sālī*, pp. 139 - 157 and 237 - 251.

Vernet, «Un tractat d'obstetrícia astrològica», pp. 273 - 300, and Toomer, انظر: (١٣٤) «The Solar Theory of Az-Zarqālī: An Epilogue», pp. 513 - 519.

التي تتعلق بنشاط مدرسة طليطلة في النصف الثاني من القرن الحادي عشر.

وفيما يتعلق بالانتقادات الموجهة للمجسطي، نشير إلى أن كتاب جابر بن أفلح إصلاح المجسطي ليس منشوراً حتى الآن، مع الأسف. وقد يكون هذا الكتاب عملاً أساسياً في تطور علم الفلك «الأورثوذكسي» في القرن الثاني عشر<sup>(١٣٥)</sup>. في هذا الكتاب يبرز جابر ككاتب نظري ينتقد بعض مظاهر للمجسطي كعدم تقديم بطليموس لبرهان حول تصنيف الانحراف الكوكبي عن المركز. ومن جهة ثانية، يصف جابر في عمله هذا آكتين للرصد بإمكانهما أن تشكلا استباقاً للآلة الفلكية التي سميت في الغرب «Torquetum»<sup>(١٣٦)</sup>، ويساهم أيضاً في أن ينتشر في أوروبا علم المثلثات الجديدي الذي سبق وأدخله إلى الأندلس ابن معاذ في القرن السابق؛ فهو يستخدم «قاعدة الكميات الأربع» ومبرهنات الجيب وجيب التمام و«مبرهنة جابر» (Théorème de Geber). ولقد عرف كتاب الإصلاح هذا في أوروبا بفضل ترجمة إلى اللاتينية قام بها جيرار دو كريمون وبفضل ترجمتين عبريتين. ولقد كان يذكر غالباً في المراجع الأوروبية ابتداء من القرن الرابع عشر. فالقسم منه المتعلق بعلم المثلثات، يعتبر مصدر كتاب *De triangulis* لريجيومونتانوس.

لكن «الاستثمار» الأوروبي لهذا القسم يعود لتاريخ أبعد، ذلك لأن فلكي ألفونس العاشر قد استعملوا بكفاءة سنة ١٢٨٠م سلسلة المبرهنات التي قدمها جابر<sup>(١٣٧)</sup> في علم المثلثات. ومن ناحية أخرى، فقد دخل كتاب الإصلاح إلى مصر في القرن الثاني عشر، مع يوسف بن يوحنا بن شمعون، تلميذ ابن ميمون الذي درس وراجع معه النسخة الأصلية. ولقد كان هذا الكتاب معروفاً في دمشق في القرن الثالث عشر الميلادي حيث أوجزه قطب الدين الشيرازي (١٢٣٦ - ١٣١١م).

ولقد عوض نشوء علم الفلك «الفيزيائي» بشكل أو بآخر عن النقص المتمثل في التطور الضعيف لعلم الفلك الرياضي - بعد الازدهار الذي عرفه القرن الحادي عشر. ويبدو أن علم الفلك الفيزيائي لم يسبق له أن درس في الأندلس قبل القرن الثاني عشر. وهذا القرن الذي سيطر فيه الفلاسفة الأرسطوطاليون، نجد فيه مفكرين من أمثال ابن رشد، ابن ميمون، ابن باجة وابن طفيل، كانوا يجمعون بين علم فلك بإمكانه أن يتوافق

---

(١٣٥) انظر: Nörl N. Swerdlow, «Jābir Ibn Aflah's Interesting Method for Finding the Eccentricities and Direction of the Apical Line of a Superior Planet», in: King and Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, pp. 501 - 512, and Toomer, *Ibid.*, pp. 513 - 519.

(١٣٦) انظر: Richard P. Lorch, «The Astronomical Instruments of Jābir Ibn Aflah and the Torquetum», *Centaurus*, vol. 20 (1976), pp. 11 - 34.

(١٣٧) انظر: E. Ansejo, «Trigonometría y astronomía en el Tratado del Cuadrante Sennero (c. 1280)», *Dynamis*, vol. 4 (1984), pp. 7 - 22.

مع فيزياء أرسطو. وهذه الفيزياء لا تعترف إلا بثلاثة أنواع من الحركة (الطاردة المركزية، والانجذابية المركزية، والدائرية حول مركز (هو الأرض فيما خص علم الفلك). وهذا الاتجاه يقضي برفض علم الفلك البطلمي الذي يعتمد على دوائر متداخلة مختلفة المراكز وعلى أفلاك التدوير، كما يعبر عن الرغبة في العودة إلى نظام الكرات الموحدة المركز. كانت هذه الأفكار مقبولة، مع بعض الفوارق، لدى الفلاسفة الأربعة المذكورين. لكن، على الرغم من حيازتنا على عدد من الاستشهادات غير المباشرة التي تدعو إلى الاعتقاد بأن ابن باجه وابن طفيل كان لديهما تصور لأنظمة فلكية «فيزيائية»، إلا أننا لا نملك التفاصيل التي تثبت هذا الاعتقاد، وما نعرفه لا يتجاوز التصريحات البديية. أما بالنسبة إلى ابن رشد، فالأمر معروف تماماً وتعتبر حالته مثيرة للفضول. ففي شروحاته المسهبة له «ميتافيزيقا»<sup>(١٣٨)</sup> أرسطو التي صاغها في العام ١١٧٤ م (في كتابه التلخيص) يبدو متقبلاً لعلم الفلك البطلمي، لكنه فيما بعد (بعد ١١٨٦ م) في شروحاته الكبيرة (التفسير) للموضوع نفسه، نراه يتراجع ويرفض هذا العلم البطلمي<sup>(١٣٩)</sup>. وفي كتابه الأخير هذا يطرح ابن رشد المبادئ التي ينبغي أن يعتمد عليها الإصلاح في علم الفلك (وأغلب هذه المبادئ قد تناولها البطروجي). وفيه يعترف بأن تقدمه في السن يمنعه من مباشرة الأبحاث اللازمة في هذا المجال حتى وإن كانت قد راودته في شبابه آمال بذلك.

ومن جهة أخرى، وعلى الرغم من رفضهم أفكار بطليموس المتعارضة مع أرسطو، فإن هؤلاء المؤلفين كانوا يدركون الطاقات التنبؤية لعلم الفلك المجسطي. فلقد كان ابن ميمون، المقتنع بأن الكون البطلمي لا ينطبق مع الكون الحقيقي، يعتقد أيضاً أن الإنسان ليس بإمكانه أن يصل إلى المعرفة الصحيحة للقوانين التي تنظم بنية الكون. على هذا الأساس، نراه يستخدم بمنتهاى الكفاءة علم الفلك البطلمي في كتابه الاحتفال بالهلال حيث يجد نفسه في مواجهة مسألة معقدة بشكل خاص، وهي رؤية الهلال الجديد<sup>(١٤٠)</sup>.

(١٣٨) ترجمت إلى العربية تحت عنوان الفلاسفة الأول أو ما بعد الطبيعة. (الترجم).

(١٣٩) انظر: A. I. Sabra: «An Eleventh - Century Refutation of Ptolemy's Planetary Theory», in: *Science and History: Studies in Honor of Edward Rosen*, edited by Erna Hilfstein, Pawel Czartoryski and Frank D. Grande, Studia Copernicana; 16 (Wroclaw: Ossolineum, 1978), pp. 117-131, and «The Andalusian Revolt against Ptolemaic Astronomy: Averroes and al-Bīrūnī», in: Everett Mendelsohn, ed., *Transformation and Tradition in the Sciences: Essays in Honor of I. Bernard Cohen* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1984), pp. 133 - 153, and Francis J. Carmody, «The Planetary Theory of Ibn Rushd», *Ostris*, vol. 10 (1952), pp. 556 - 586.

(١٤٠) انظر: Moshe ben Maimon, *Sanctification of the New Moon*, translated from the hebrew by S. Gandz, with supplementation and an introduction by J. Obermann and an astronomical commentary by O. Neugebauer, *His the Code of Maimonides, Book 3, Treatise 8* (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1956).

ويبدو بوضوح أن هؤلاء الفلاسفة الأربعة كانوا يعرفون بطليموس. فلقد كان ابن باجه قادراً على احتساب الحسوف، «كان قد عرف وقت خسوف البدر بصناعة التعديل»<sup>(١٤١)</sup>. وبالإضافة إلى هؤلاء نرى البيروني أيضاً يمدح دقة وصواب المجسطي الذي تشتق منه كل الوسائط المعديّة التي استخدمها في كتابه كتاب في الهيئة.

ولقد كان البيروني الوحيد بين ممثلي المدرسة الأرسطوطالية في الأندلس في القرن الثاني عشر الذي توصل إلى صياغة نظام فلكي جتيني وحيد المركز في الاتجاه الذي رسمه أودوكس<sup>(١٤٢)</sup>. ولقد أدخل ضمن هذا النظام قدراً كبيراً من الاسهامات الفلكية السابقة، من بطليموس وحتى الزرقالي<sup>(١٤٣)</sup>. فهو يعتبر أولاً أنه، إذا كان أصل كل الحركات السماوية موجوداً في «المحرك الأول» الكائن في الكرة التاسعة، فمن المحال التفكير بأن هذا «المحرك الأول» ينقل إلى الكرات السفلى حركات متعكسة الاتجاه: حركة نهارية من الشرق إلى الغرب وحركة حسب خط الطول من الغرب إلى الشرق. فيجب أن نسلم بأن حركة الكرة التاسعة - وهي الأسرع والأقوى والأبسط من بين كل الحركات - تنتقل إلى الكرات الأدنى وتصبح حركات أكثر فائتاً بطأ كلما ازداد بعدها عن المحرك الأول. فتحركة المبادرة لكرة النجوم الثابتة والحركات حسب خطوط الطول للكرات الكوكبية تشكل نوعاً من التأخير أو الكبح «التقصير»، وباللاتينية «incurtation» الذي يخفف من سرعة الحركة النهارية. وهنا يطرح هذا الكاتب مسألة لم يكن بإمكانه حلها، وهي مسألة انتقال الحركة من الكرة التاسعة إلى الكرات الأدنى. ويحاول البيروني أن يشرح هذه الظاهرة عن طريق استعارتين لهما، في كل الأحوال، فائدة تتجلى بطرح مسألة تشبه علم الحركة الفلكي بعلم الحركة الأرضي. ولقد كان دوهم (Duhem) أول من لفت الانتباه إلى أولى هاتين الاستعارتين، ولاحظ أن البيروني يسترجع في هذا المجال نظرية «الميل» (impetus) المائلة لعلم الحركة الأنلاطوني المحدث (néoplatonicienne) التي شكلها جان فيليبون في القرن السادس للميلاد: فكما أن النبال يعطي للسهم «الميل القسري» الذي يواصل دفعه بعد أن ينطلق طائراً منفصلاً عن دافعه، يمكننا أن نتصور انتقال الحركة بين الكرات السماوية حتى وإن كان منفصلاً بعضها عن البعض الآخر<sup>(١٤٤)</sup>. والتشبيه الثاني له أيضاً طابع نيوأفلاطوني، وأتى في الأصل من الفيلسوف أبو البركات البغدادي (القرن الحادي عشر - القرن الثاني عشر) والذي أدخلت أعماله إلى الأندلس عن طريق اسحق بن

(١٤١) انظر: أبو العباس أحمد بن عبد المقرئ، نفع الطيب من فطن الأندلس الرطب، تحقيق إحسان عباس، ج ٨، ص (بيروت: دار صادر، ١٩٦٨)، ج ٧، ص ٢٥.

(١٤٢) انظر: Edward Stewart Kennedy, in: *Speculum*, vol. 29 (1954), p. 248.

(١٤٣) انظر: Goldstein, «On the Theory of Trepidation According to Thābit b. Qurra and al-Zarqālū and Its Implications for Homocentric Planetary Theory», pp. 232 - 247.

(١٤٤) انظر: Pierre Maurice Marie Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, 3 vols. (Paris: A. Hermann, 1906 - 1913), vol. 2, p. 191.



ابراهيم بن عزرا، الذي كان تلميذه في بغداد. فكما البغدادي، كذلك البطروجي كان يعتبر أن الحركة الدائرية للكواكب السماوية مبررة «بالشوق» (والكلمة من عند البطروجي) الذي تكنه كل كرة للكرة التي تليها في العلو، وهذا الشوق يشابه الشوق الذي تكنه الأصول الأربعة لتحتل مكانها الطبيعي. غير أن كل جزء من الكرة الأدنى يوجد في وقت ما يقرب جزء من الكرة الأعلى، فلا يستطيع إخماد شوقه إلا جزئياً. لهذا السبب تتحرك الكرة الأدنى، وهذه الحركة الدائرية هي نتيجة للمجهود الذي يبذله كل من أجزائها للاقترب من كل من أجزاء الكرة الأعلى<sup>(١٤٥)</sup>.

يعتمد النظام الفلكي للبطروجي، إذن، على أن كرة النجوم الثابتة هي الأسرع وعلى أن كرة القمر هي الأبطأ. وليس في هذا التصور أية أصالة. فلقد نسب لوكريس (Lucretius) أفكاراً مماثلة إلى ديموقريطس، وكذلك نسب اسكندر الأفروديسي أفكاراً مماثلة إلى الفيثاغوريين. ومن جهة أخرى، يقول مارتيانوس كابللا<sup>(١٤٦)</sup> إن المشائين كانوا يعتقدون بأن الكواكب لا تتحرك في اتجاه معاكس لحركة الكرة السماوية، لكن هذه الكرة تتجاوز الكواكب لأنها تتحرك بسرعة لا يمكن للكواكب إدراكها. ونعود فنجد مجدداً الأفكار نفسها عند ثيون الإسكندري وعند ابن رشد. إن حركة الكرة التاسعة المذكورة، تنتقل أيضاً إلى عالم ماتحت القمر حيث ينتج عنها في كرة النار، ظهور النيازك؛ أما في كرة الماء فينتج عنها الموج وحركات المد والجزر. ونظرية البطروجي هذه في المد والجزر، مذكورة في كتاب لك والجزر المنسوب لابن الزيات التديلي (المتوفى عام ١٢٣٠م)، الذي نجد فيه أيضاً دراسة معمقة حول الدورات اليومية والشهرية والسوية للمد والجزر<sup>(١٤٧)</sup>.

لقد ركزنا إلى الآن على الأساس الفيزيائي لنظام البطروجي الفلكي. ولا نستطيع أن نتوسع هنا في تفاصيل نماذجه عن الشمس والقمر والنجوم الثابتة والكواكب. ونكتفي بالملاحظة الإجمالية بأن هذه النماذج موحدة المركز، حيث تتحرك الكواكب على طرف محور يتقدم بدوره على فلك تدوير يوجد مركزه على فلك حامل قطبي (طرف المحور يرسم قوساً دائرياً قيمته 90°). وهنا نجد استخداماً منهجياً لمعطيات بطليموس الهندسية، لكن، مع وضع الأفلاك الحاملة المختلفة المراكز، وأفلاك التدوير، حول قطب الكون. وقد استعمل الزرقالي حلولاً مشابهة في نماذجه الهندسية المخصصة لشرح تغيرات انحراف دائرة

(١٤٥) انظر: «Tres notas sobre astronomía hispánica en el siglo XIII» pp. 167 - 179.

179.

Martianus Capella, *De nuptiis*, chap. 8, p. 853.

(١٤٦)

L. Martínez, «El *Kitāb al-madd wa-l-faḥr* de Ibn

al-Zayyāl», in: Vernet, ed., *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII*, pp. 111-173.

L. Martínez, «Teorías sobre las mareas según un manuscrito árabe del siglo XII»

*Memorias de la Real Academia de Buenas Letras*, vol. 13 (1971 - 1975), pp. 135 - 212.

الكسوف. وتعتبر نماذج البطروجي، بالإجمال، عبقريّة، لكن لم يكن بإمكانها أن تترك الدقة التي توصلت إليها النماذج التي استخدمت ضمن التقليد البطلمي. ومن جهة أخرى، لم يتوصل أحد إلى احتساب جداول بواسطة هذه النماذج الجديدة. فلم يكن نظام البطروجي منسجماً دائماً مع المبادئ التي وضع من أجلها، لأنه كان نظاماً وصفيّاً صرفاً. لذلك نراه قد نال نجاحاً كبيراً عند الفلاسفة المدرسين<sup>(١٤٨)</sup>، بينما لم يأخذه الفلكيون على حعمل الجد.

ويبقى أن نشير إلى نقطة أخيرة. فلقد رأينا أنه على الرغم من التأثير الجدي لأرسطو على كتاب البطروجي كتاب في الهبة، فإن المبادئ الفيزيائية التي اعتمدها لم تكن دائماً متوافقة مع هذا الفيلسوف التقليدي؛ ولقد استطعنا أن نتبين فيه تأثيرات علم الحركة النيوأنلاطوني. إن هذا الأمر قد يعود إلى التأثير غير المباشر لابن باجه الذي يمثل في الأندلس هذه الفيزياء «الجديدة» في مواجهة ابن رشد المدافع الأكبر عن الأرسطوطالية التقليدية. ويبدو أن ابن باجه كان على علم بمؤلفات جان فيليبون عبر دحض الفارابي له، أو عبر تأثير أبي البركات البغدادي. وأفكار ابن باجه هامة على عدة صعد. فهو يهتم بالحركة التي يحدثها المغناطيس، وكذلك بتقل الأجسام على مستوي مائل، ويعبر عن حس علمي في تصوره للقوة الدافعة، حيث نجد بعض التشابه مع مفهوم القصور الذاتي في الفيزياء النيوتنية. ولئن بدا ابن باجه غير قابل بنظرية «الميل»، ومنحازاً إلى أفكار أرسطو فيما يتعلق بـ «الحركات القسرية»، إلا أنه يدافع - ضد أرسطو - عن احتمال «حركة طبيعية» في الفراغ، ذلك لأنه يقبل بـ «الصيغة الطرحية» (Formule soustractive) التي تحكم سقوط الأجسام:

$$V = P - M$$

حيث  $V$  هي سرعة السقوط و  $P$  هي القوة الدافعة التي تتعلق بالوزن أو بالثقل النوعي للجسم و  $M$  هي مقاومة الوسط التي تتعلق بدورها بثقله النوعي أو بكثافته. وانسجماً مع هذا التصور، يكون لدينا في الفراغ:  $M = 0$ ، وبالتالي يكون  $V = P$ ، فتكون سرعة السقوط بالتالي هي «السرعة الطبيعية» للجسم، التي تتعلق بشكل أو بآخر بثقله النوعي.

ومن جهة أخرى، لكي يشرح نظريته حول سقوط الأجسام يلجأ ابن رشد إلى حركة الأجرام السماوية في الفضاء الفارغ حيث تتحرك هذه الأجرام بسرعة متناهية (معدودة).

(١٤٨) انظر: A. Cortabarría Beitia, «Deux sources de S. Albert le Grand: Al-Bitrūjī et al-Battānī», *Mélanges du l'institut dominicain d'études orientales du Caire*, vol. 15 (1982), pp. 31 - 52, et R. S. Avi - Yonah, «Ptolemy vs. al-Bitrūjī: A Study of Scientific Decision-Making in the Middle Ages», *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 35 (1985), pp. 124 - 147.  
انظر أيضاً: Nūr al-Dīn Abū Ishāq al-Bitrūjī, *De motibus celorum*, critical edition of the latin translation of Michael Scot; edited by Francis J. Carmody (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1952).

وهذا يدل على أن فيلسوفنا يتصور علماً (واحداً) للحركة يمكن تطبيقه على العالم تحت القمري كما على العالم فوق القمري خلافاً للنظرية الأرسطوطالية التي تتصور علمين للحركة.

ولقد انتشرت هذه التعاليم في أوروبا القرون الوسطى عن طريق دحضها الذي قام به ابن رشد، وقد أثرت على أفكار توما الاكويني (Thomas d'Aquin) ودنز سكوت (Duns Scot) وغيرهما من الفلاسفة المدرسين (scolastiques). ولقد وصلت أصدائها في القرن السادس عشر إلى كتاب إيطاليين من أمثال بينيتي (Benedetti) وبيزو (Borro)، سلفي غاليليو. والمعروف أن هذا العالم، في المرحلة من حياته المعروفة بالفترة البيزية (نسبة إلى مدينة بيزا)، تبنى الصيغة الطرحية، مدخلاً بكل وضوح أن  $P$  و  $M$  هما الثقلان النريان للجسم وللوسط. إن النتيجة الفورية لهذه الأفكار هي أن جسمين مختلفي الحجم لهما الثقل النوعي نفسه، يسقطان بالسرعة نفسها. وهذه هي بالضبط الفرضية التي أثبتتها (على حد اعتقاده (المترجم)) التجربة المشهورة التي قام بها عند البرج المائل<sup>(١٤٩)</sup>.

### خامساً: الانحطاط (القرن الثالث عشر - القرن الخامس عشر)

بعد سقوط حكم الموحدين اقتضت إسبانيا المسلمة على ملكة غرناطة النصرانية (١٢٣٢ - ١٤٩٢م)<sup>(١٥٠)</sup>. وبدأت ترتسم بمزيد من الوضوح مظاهر الانحطاط التي بدأت في المرحلة السابقة. والعلماء المسلمون الذين أضحووا في أرض احتلتها المسيحيون عبروا الحدود، عامة، ليستقروا إما في غرناطة أو في أفريقيا الشمالية أو في الشرق. وقد حصل ذلك على الرغم من السياسة التي اعتمدها الفونس العاشر (١٢٥٢ - ١٢٨٤م) لاجتذاب رجال العلم المسلمين بعد احتلاله مرسية (Murcie) عام ١٢٦٦م. ويقول ابن الخطيب إن الملك قدم مكافآت هامة لرجال العلم الذين يعتنقون المسيحية، ومنهم من قبل بذلك مثل برناردو العربي (Bernardo el Arabigo)، الذي ساعد على مراجعة الترجمة القشتالية لرسالة الزرقالي حول الصفيحة (azafea) التي جرت في برغوس عام ١٢٧٨م. أما الطبيب والرياضي الذي يفوق كثيراً مكانة وأهمية وهو محمد الرقوتي، فقد رفض العرض الملكي

(١٤٩) انظر: Shlomo Pines, «La Dynamique d'Ibn Bîja», dans: *Mélanges Alexandre Koyré*, histoire de la pensée; 12 - 13, 2 vols. (Paris: Hermann, 1964), vol. 1: *L'Aventure de la science*, pp.442 - 468; Ernest A. Moody, «Galileo and Avempace: The Dynamics of the Leaning Tower Experiment», *Journal for the History of Ideas*, vol. 12, no. 2 (April 1951), pp. 163 - 193 and 375-442, and Edward Grant, «Aristotle, Philoponus, Avempace and Galileo's Pisan Dynamics», *Centaurus*, vol. 11, no. 2 (1965), pp. 79 - 95.

(١٥٠) حول لمحة من تطور العلوم والطب، انظر: Rachel Arité, *L'Espagne musulmane au temps*, des *Nasrides* (1232 - 1492) (Paris: Bocard, 1973), pp. 428 - 438.

وذهب إلى غرناطة التي كان يحكمها محمد الثاني<sup>(١٥١)</sup>. لذلك فلا يوجد تطور علمي مسلم في إسبانيا المسيحية على الرغم من أنه بالإمكان إيجاد استثناءات أحياناً.

ففي النصف الثاني للقرن الخامس عشر وجدت في سرقسطة «مدرسة» كان بإمكان الطالب أن يتعلم فيها الطب قارئاً، باللغة العربية بالطبع، الأروجة في الطب وكتاب القانون لابن سينا<sup>(١٥٢)</sup>. ومن جهة أخرى، قلل الرغم من الحد من الحريات، يؤكد بعض المراجع وجود نوع من حرية الحركة للمسلمين، على الأقل في منطقة بلنسية. فلقد كان البعض يسافر إلى غرناطة أو يقطع جبل طارق طلباً للحج أو سعياً وراء العلم. كما أن بعض المسافرين المسلمين أتوا إلى بلنسية قادمين من غرناطة أو من شمال إفريقيا<sup>(١٥٣)</sup>.

ولقد كان لهذه الرحلات أحياناً بعض التأثير في مجال العلوم. فلقد أدخل فقيه من باترنا في العام ١٤٥٠ م آلة فلكية (Sexagenarium) إلى بلنسية كانت تستعمل من قبل الفلكيين في القاهرة. وهذه الآلة هي جهاز ينتمي إلى عائلة «الصفائح الجامعة لتقويم الكواكب» له «جانب كوكبي» (يعطي الحركات المتوسطة للكواكب) و«جانب مثلثاتي» (نسبة إلى علم المثلثات) يحتوي على ربيعة للجيوب (sinus)، يمكن بواسطتها أن تحل بيانياً مسائل علم المثلثات التي بإمكانها أن تحدد معادلات الكواكب. والرسالة التي تصف هذا الجهاز كانت موضوعاً للترجمات الكتالانية والإيطالية واللاتينية، وتعتبر هذه الرسالة إحدى أخريات الحالات المعروفة عن انتقال العلم العربي عبر إسبانيا<sup>(١٥٤)</sup>.

غير أن رجال العلم، كما سبق وأشرنا، كانوا غالباً يفضلون اجتياز الحدود إلى خارج المناطق المحتلة. ففي القرن الثالث عشر هاجر عالم العقاقير المشهور ابن البيطار إلى المغرب ثم إلى مصر، وأخيراً إلى دمشق، حيث توفي عام ١٢٤٨ م. أما الفلكي محيي الدين المغربي، فيحتمل أنه من أصل أندلسي لكنه عمل في سوريا، ومن ثم في مرصد مراغة. وهناك حالة ثالثة ملفتة للنظر هي حالة الرياضي «القليصادي» المولود في باجة (Baza) في العام ١٤١٢ م والمتوفى في تونس عام ١٤٨٦ م. وهناك أيضاً رجال العلم الذين بقوا في غرناطة خيارهم الأندلسي الوحيد المتبقي. ولقد قدم بعض الحكام لهؤلاء أجواء مواتية، ونذكر على سبيل المثال أن محمد الثاني (١٢٧٣ - ١٣٠٢ م) اجتذب إلى بلاطه العالم الرقوتي الذي

---

(١٥١) انظر: Julio Samsó, «Dos colaboradores científicos musulmanes de Alfonso X», *Lull*, vol. 4 (1981), pp. 171 - 179.

(١٥٢) انظر: Ribera, «La Enseñanza entre los musulmanes españoles», vol. 1, pp. 229 - 359.

(١٥٣) انظر: M. C. Barco, «Minorías islámicas en el país valenciano: Historia y dialecto» (Valencia: [n. pb.], 1984), especially pp. 102 - 104.

(١٥٤) انظر: Lynn Thorndike, «Sexagenarium», *Isis*, vol. 42 (1951), pp. 130 - 133, and

Emmanuel Poulle, «Théorie des planètes et trigonométrie au XV<sup>e</sup> siècle d'après un équateur inédit, le sexagenarium», *Journal des savants* (1966), pp. 129 - 161.

سبق أن أشرنا إليه والرياضي الفلكي ابن الرقام (ت ١٣١٥م) وهو من أصل أندلسي، استقر في تونس. ولقد كان الرقوني في أساس مدرسة هامة في الطب انتهت إلى عهد الشفرة (ت ١٣٦٠م). أما ابن الرقام فقد قام بدوره بتدريس الرياضيات وعلم الفلك لأبي زكريا بن هذيل وعلم السلطان نصر (١٣٠٩ - ١٣١٤م) احتساب التقاويم، كما علمه بناء الأدوات الفلكية. ومن بين الأمراء المشهورين يجب التنويه أيضاً بيوسف أخي عهد الثاني الذي كان من كبار المولعين بالكتب الرياضية والفلكية، لكنه كان يجد نفسه مضطراً لإخفاء هذه الاهتمامات عن أبيه عهد الأول (١٢٣٧ - ١٢٧٣م) الذي لم يكن يستحسنها<sup>(١٥٥)</sup>.

ومن ناحية أخرى، فإن التطور العلمي الناشئ في إسبانيا القرن الثالث عشر المسيحية، كانت له، على ما يبدو، انعكاسات في غرناطة النصرية. فلدينا بعض ما يشير إلى الظاهرة التي سماها غارسيا بالستر «ارتداد النزعة المدرسية» (Reflux de la scolastique)<sup>(١٥٦)</sup>. وهذه الظاهرة تمثلت في أن ثقافة علمية معدة في إسبانيا المسيحية استندت منذ بداية القرون الوسطى على قواعد علمية أتت من العالم العربي، قد أدخلت إلى إسبانيا المسلمة. هذه الحركة التي سيكون لها نتائج هامة في إفريقيا الشمالية فيما بعد، يبدو أنها انطلقت منذ بداية القرن الثالث عشر. وفي هذا المجال نستطيع التنويه بمحمد بن الحاج (المتوفى عام ١٣١٤م)، المولود في إشبيلية المسيحية، الذي يمدح ابن الخطيب معارفه باللغة وبالثقافة «الرومية». وهذا الوجه العلمي، أو أبوه<sup>(١٥٧)</sup>، وهو نجار «مدجن» من إشبيلية، هو الذي بنى ناعورة فاس الكبرى: «الجديدة»، للسلطان المريني<sup>(١٥٨)</sup> وأبي يوسف (١٢٥٨ - ١٢٨٦م). وقد أثارت هذه الناعورة انتباه ليون الأفريقي الذي يصفها مشيراً إلى أنها لا تدور سوى ٢٤ مرة في اليوم الواحد؛ ولو صحت هذه الرواية، فقد ينفي التفكير بإمكانية وجود ساعة تسير بواسطة حركة الناعورة، مثل تلك التي كان قد بناها في الصين سو - سنغ في القرن الحادي عشر. وعند وفاة أبي يوسف، عاد ابن الحاج إلى غرناطة حيث استقبل جيداً في بلاط محمد.

وهناك حالة ثانية، أشد أهمية تتمثل بالجراح محمد الشفرة (توفي في العام ١٣٦٠م)

(١٥٥) الإحاطة لابن الخطيب وهي المصدر الأهم من بين المصادر ذات الطابع العام. والمعطيات العلمية لهذا المصدر كشفها وحللها: Roser Puig: «Dos notas sobre ciencia hispano - árabe a finales del siglo XIII en la *Ihāṭa* de Ibn al-Jatīb.» *Al-Qantara*, vol. 4 (1983), pp. 433 - 440, and «Ciencia y técnica en la *Ihāṭa* de Ibn al-Jatīb: Siglos XIII y XIV.» *Dynamis*, vol. 4 (1984), pp. 65 - 79.

(١٥٦) انظر: García Ballester, *Historia social de la medicina en la España de los siglos XIII al XVI*, pp. 21 ff.

(١٥٧) إن نصي ابن الخطيب ليس واضحاً بالشكل الكافي. انظر شرحي: Georges S. Colin, «L'Origine des norias de Fès.» *Hespéris*, vol. 16 (1933), pp. 156 - 157, et Puig, «Dos notas sobre ciencia hispano - árabe a finales del siglo XIII en la *Ihāṭa* de Ibn al-Jatīb.» pp. 433 - 440.

(١٥٨) نسبة إلى بني مرين.

المولود في كريفيالانت (اللقنت - Alicante)) عندما غدت هذه المدينة تحت الحكم الإسباني، الذي درس الجراحة (على عدد من أشهر الذين مارسوا هذا الفن اليدي وكانوا من الإسبان)، ومن بين هؤلاء، نجد المعروف بالمعلم برنات (أو بزناد أو بزند) البلسي<sup>(١٥٩)</sup>.

إن المثل الأكثر دلالة على هذا «الارتداد» يتعلق بالتأثير الإسباني الغربي المحتمل في أصول ما سمي في الأندلس بـ «المدرسة»، حتى وإن كان هذا التأثير محض فرضية. فحسب رواية ابن الخطيب، إن ألفونس العاشر عندما التقى العالم الرقوتي في مرسية (Murcie)، بنى له «مدرسة» لكي يعلم فيها الطلاب. ولقد أعيد تطبيق الفكرة نفسها، من قبل محمد الثاني، الذي قدم، أيضاً للرقوتي، الوسائل المادية لتنظيم تدريسه في غرناطة. ومن جهة أخرى، احتفل ألفونس العاشر في العام ١٢٥٤م بإنشاء مؤسسة تدريسية عامة (Studium générale) في إشبيلية. ومن بين شهود الاحتفال يذكر حضور الملك محمد الأول ملك غرناطة. كل هذه الأمور تشكل سلسلة أحداث، تقودنا في العام ١٣٤٩م إلى تأسيس «المدرسة اليوسفية النصرية» أو «العلمية» في غرناطة من قبل «الحاجب» رضوان، وهو شخصية علمية من أصل إسباني<sup>(١٦٠)</sup>، ويحتمل أن تكون المدرسة المذكورة، أولى المؤسسات المكرسة لتعليم العلوم في الأندلس، لأننا نعلم أن الطب قد دُرِّس فيها. ونستطيع بالطبع، التفكير بوجود تأثير مغربي في هذا الاتجاه، ذلك لأن أول «مدرسة» تأسست في المغرب كانت في جامع القرويين في فاس عام ١٢٧١م، لكن بالإمكان الإبقاء على إمكانية تأثير الممارسة الإسبانية في هذا المجال.

وفي هذه الأجواء يطرح سؤال حول نوعية المواد العلمية التي درست في غرناطة. أول جواب من هذا السؤال تقدمه لنا معطيات كتاب الإحاطة في أخبار غرناطة لابن الخطيب، هذه المعطيات التي كشف عنها ر. بويغ (R. Puig). ففي هذا الكتاب يذكر ابن الخطيب ٤٧ شخصية عرف اهتمامها بالعلم في القرنين الثالث عشر والرابع عشر في مملكة بني نصر. ومن خلال السير الـ ٤٧ المذكورة هذه، نرى أن عدد الذين اهتموا منهم بالطب يأتي بالدرجة الأولى، يليه عدد الرياضيين، ومن ثم عدد الفلكيين. إن هذا الإحصاء يتوافق جيداً مع الواقع. ولن نتحدث هنا عن الطب. وفي مجال العلوم الزراعية وعلم النبات نذكر اسمي ابن البيطار (١١٩٧ - ١٢٨٤م) وابن ليون (١٢٨٢ - ١٣٤٩م). فلقد بلغ الأول الذروة في علم العقاقير الأندلسي الذي ما انفك يتطور منذ القرن العاشر. فكتابه الجامع لمفردات الأدوية والأغذية هو المؤلف الأكمل في علم النبات التطبيقي في شبه

(١٥٩) انظر: H. P. J. Renaud, «Un chirurgien musulman du royaume de Grenade: Muhammad Aḥ - Šaḥra», *Hesperis*, vol. 20, fascicules I - II (1935), pp. 1 - 20.

(١٦٠) انظر: L. Seco de Lucena Paredes, «El ḥāḥib Riḍwān, la madraza de Granada y las murallas del Albayzín», *Al-Andalus*, vol. 21 (1956), pp. 285 - 296.

الجزيرة الإيبيرية في القرون الوسطى<sup>(١٦١)</sup>. فهو يصف فيه ثلاثة آلاف صنف من الأعشاب الطبية أدرجها حسب الترتيب الأبجدي لأسمائها واستقى معلوماته حولها من مئة وخمسين كاتباً منذ ديوسقوريدس وحتى الخافقي وأبي العباس النبضي. كما نجد فيه ملاحظات وتأملات شخصية قام بها الكاتب، لكنها تعتبر ضئيلة إذا ما قيسَت بالمعلومات التي جمعت في هذا الكتاب. فابن البيطار يقيم، إذن، في قمة تطور هذا العلم وفي بداية الانحطاط في الوقت نفسه. ولكننا لا نستطيع أن نصف الشخصية الثانية التي ذكرناها (ابن ليون) بالصفة نفسها، ذلك لأن دور ابن البيطار في مجال علم الزراعة يمكن مقارنته بدور ابن العوام في القرن السابق: فطالما أن تركيباً وتجميعاً كبيراً للمعلومات قد حصل، لذلك أصبح العمل التلخيصي مطلوباً؛ وهذا ما قام به ابن ليون عندما كتب الأروجوة الزراعية التي ليست سوى موجز زراعي في أشعار، دون فائدة كبرى تستحق التوقف عندها<sup>(١٦٢)</sup>.

وفي الرياضيات، ليس لدينا سوى اسمين نذكرهما. الأول هو اسم ابن بدر، الذي لا يوجد ما يدل بدقة على تاريخ ولادته أو مماته، إنما يبدو أنه عاش في القرن الثاني عشر أو الثالث عشر. وهو مؤلف رسالة في الجبر العام تهتم بحل المسائل غير المحددة<sup>(١٦٣)</sup> («السيالة» (الترجم)). أما الاسم الثاني فهو اسم «القليصادي» (حوالي ١٤١٢ - ١٤٨٦م) الذي كتب في مواضيع متنوعة، وتفرق أعماله كثيراً أعمال ابن بدر. إن ما يميّز من أعمال هذا العالم هو ما كتبه في علم الحساب والجبر وفي تقسيم الميراث («علم الفرائض»)، ونشير إلى أن المجموعة الكاملة لمؤلفاته غير معروفة حتى الآن. إن «رحلته» لأداء فريضة الحج سمحت له بالقيام بدراسات في تلمسان وهران وتونس وكذلك في الشرق. وهذا ما يفسر تأثره بأعمال الرياضي المراكشي ابن البناء (المتوفى عام ١٣٢١م) واستعماله رموزاً جبرية كان قد استعملها عدد من الرياضيين الشرقيين كما كان قد استعملها في المغرب، يعقوب بن أيوب (حوالي ١٣٥٠م) وفي الجزائر ابن قنفذ (ت ١٤٠٧م)<sup>(١٦٤)</sup>.

(١٦١) انظر الترجمة الفرنسية للكثير (L. Leclerc) في: *Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale* (Paris: [s. n.], 1877 - 1883), vol. 23 et 25 - 26.

(١٦٢) انظر التحقيق والترجمة الأسبانية التي قام بها: Ibn Luyūn, *Tratado de Agricultura*, édition et traduction espagnole de J. Eguaras (Grenade: [s. n.], 1975).

(١٦٣) انظر: Abenbédér, *Compendio de Algebra de Abenbédér*, texto árabe, traducción y estudio por José A. Sánchez Pérez (Madrid: [n. pb.], 1916).

(١٦٤) انظر: H. P. J. Renaud, «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. IV. Sur un passage d'Ibn Khaldūn relatif à l'histoire des mathématiques», *Hesperis*, vol. 31, fascicule unique (1944), pp. 35 - 47.

وحول القليصادي، انظر: - 229 pp. in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 11, pp. 229 - 230, and M. Souissi, «Un mathématicien tuniso - andalou: Al-Qalāṣādī», paper presented at: *Actas del II Coloquio Hispano - Tunecino de Estudios Históricos* (Madrid: [n. pb.], 1973), pp. 147-169.

وفي مجال علم الفلك يجب أن نشير مرة أخرى إلى اهتمام الأندلسيين بصناعة الأجهزة الفلكية، وإلى أن اتصالهم بالشرق بقي مستمراً، حتى في هذه المرحلة من عصر الانحطاط. وهكذا فإننا نجد أن ابن أرقم النعمري (توفي ١٢٥٩م) قد كتب عن الأسطرلاب الخطي وهو جهاز قام بصنعه صانع الأسطرلابات الفارسي شرف الدين الطوسي (التوفي عام ١٢١٣م)<sup>(١٦٥)</sup>. وابن الأرقم نفسه كان كاتب الرسالة الأولى من سلسلة من الرسائل التي تناولت علم الخيل، إحدى «صرعات» ذلك العصر في غرناطة النصرية<sup>(١٦٦)</sup>.

ومن جهة أخرى، كتب المدعو حسين بن أحمد بن باص (أو ماص) الإسلامي، عام ١٢٧٤، رسالة طويلة حول اللوحة الشاملة، أي تلك التي تصلح لجميع خطوط العرض («الجميع العروض») والتي يمكن تصنيفها ضمن نمط «صفحة» الزرقالي والتي توافق أيضاً تقليد «الصفحة الآفاقية» التي تحمل اللوحات فيها إسقاط عدة آفاق. ويحتفل أن يكون هذا الفلكي هو نفسه حسن بن محمد بن باصو (التوفي عام ١٣١٦م) الذي أصبح رئيس الموقتين في جامع غرناطة الكبير، وكان ابنه حسن أيضاً موقتاً في الجامع نفسه. ويمدح ابن الخطيب الأب وابنه مشيداً بمهارتهما في صناعة الأدوات الفلكية وخاصة الزاوال (الساعات الشمسية)<sup>(١٦٧)</sup>. إن هذه المعطيات هامة لسببين: السبب الأول هو في كونها تشكل الشهادة الأولى على وجود الموقتين في الجوامع الأندلسية. والسبب الثاني هو الإعجاب الذي يبدية ابن الخطيب بخصوص الزاوال التي صنعها ابن باصو. وهذا الإعجاب يثير الدهشة نظراً للفقر الذي عرفته صناعة هذا النوع من الأجهزة، حسب

---

Roser Puig, «Ibn Arqam al - Numayrī (m. 1259) y la introducción en al- Andalus del astrolabio lineal.» in: Vernet, éd., *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X*, pp. 101 - 103.

Georges S. Colin, «Un nouveau traité grenadin d'hippologie», *Islamica*, vol. 6 : ١٦٦ : انظر : (1934), pp. 332-337.

Arié, *L'Espagne musulmane au temps des Nasrides (1232 - 1492)*, et 'Alī Ibn 'Abd al-Rahmān Ibn Hūdhayl al-Andalusī, *Gala de caballeros, batón de paladines*, edición preparada por María Jesús Viguera, Biblioteca de la literatura y el pensamiento hispánicos; 24 (Madrid: Editora Nacional, [1977]).

Renaud, «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. I. Les Ibn : انظر : (١٦٧) Bâso», pp. 1 - 12; Julio Samsó, «A Propos de quelques manuscrits astronomiques des bibliothèques de Tunisie: Contribution à une histoire de l'astrolabe dans l'Espagne musulmane», paper presented at: *Actas del II Coloquio Hispano - Tunecino de Estudios Históricos*, pp. 171 - 190, and E. Calvo, «La Lámina universal de 'Alī b. Jalaf (s. XI) en la versión alfoní y su evolución en instrumentos posteriores», «Ochava Raseras y «Astroffica» in: *Textos y Estudios sobre las Fuentes Arabes de la Astronomía de Alfonso X* (Barcelona: [n. pb.], 1990), pp. 221 - 238.



معلوماتنا الحالية<sup>(١٦٨)</sup>. ومن المحتمل جداً أن يكون القرنان الثالث عشر والرابع عشر قد شهدا في غرناطة تَجَدُّداً مهماً في دراسة علم المزاويل وتطبيقاته في صناعة الساعات الشمسية. هذه الفرضية أكدتْها الدراسات التي أنجزت حديثاً حول الرسالة في علم الظلال لابن الرقام (ت ١٣١٥م) والتي تظهر الكفاءة العالية التي يطبقها الرياضيون والفلكيون على دراسة الساعات الشمسية باستخدام طرق تسطيح الكرة، التي لم تكن معروفة من قبل في الأندلس<sup>(١٦٩)</sup>. ولقد ألف ابن الرقام نفسه جداول فلكية<sup>(١٧٠)</sup> تابعاً فيها نهج الزرقالي وابن الهيثم. إن هذه الجداول لم تدرس حتى الآن، لكن الدلائل تشير إلى أن أبحاثاً معمقة حول هذا الفلكي، يحتمل أن تجعل منه الوجه الأبرز في العلم النصري.

لكن ابن الرقام يشكل حالة استثنائية. فلقد بلغ العلم الأندلسي ذروته في القرن الحادي عشر واستمر بتقديم نتائج مرموقة حتى القرن الثاني عشر، لكنه لم يصمد بوجه الانحطاط السياسي والاحتضار الطويل للنصرين الغرناطين. ولقد فهم القلصادي هذا الواقع (كما وعاه كثير من رجال العلم منذ القرن الثالث عشر) فرحل إلى إفريقيا قبل الأزمة النهائية، وبعد وفاته سنة ١٤٨٦م بست سنوات، انتهى بمجل النشاط الثقافي العربي في الأندلس.

King, «Three Sundials from Islamic Andalusia», pp. 358 - 392.

(١٦٨) انظر:

J. Carandell: «An Analemma for the Determination of the Azimuth of the Qibla in the *Risāla fī 'ilm al-ḥilāl* of Ibn al-Raqqām», *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*, Bd. 1 (1984), pp. 61 - 72; «Trazado de las curvas de oración en los cuadrantes horizontales en la *Risāla fī 'ilm al-ḥilāl* de Ibn al-Raqqām», *Dynamis*, vol. 4 (1984), pp. 23 - 32, and *Risāla fī 'ilm al-ḥilāl de Muḥammad Ibn al-Raqqām al-Andalusī* (Barcelona: [a. pb.], 1988).

Vernet, «La Supervivencia de la astronomía de Ibn al-Bannā», pp. 447 - 451. انظر: (١٧٠)



## المراجع

### ١ - العربية

#### كتب

ابن جلدل، أبو داود سليمان بن حسان. طبقات الأطباء والحكماء. تحقيق فؤاد سيد. القاهرة: المعهد العلمي الفرنسي للأثار الشرقية، ١٩٥٥. (مطبوعات المعهد العلمي الفرنسي للأثار الشرقية بالقاهرة، نصوص وترجمات؛ ١٥)

ابن حجاج الإشبيلي، أبو عمر أحمد بن محمد. اللقنec في الفلاحة. تحقيق صلاح جرار وجاسر أبو صافية؛ تدقيق وإشراف عبد العزيز الدوري. عمان: مجمع اللغة العربية الأردني، ١٩٨٢.

ابن حيان. المختص من أبناء أهل الأندلس. تحقيق م. علي مكّي. بيروت: [د. ن.]. ١٩٧٣.

ابن ماجد، شهاب الدين أحمد بن أبي الركانب. الحاوية. تحقيق وتقديم إبراهيم خوري. دمشق: نشرة الدراسات الشرقية، ١٩٧١.

———. كتاب الفوائد في أصول علم البحر والقواعد. تحقيق إبراهيم خوري وعزة حسن. دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية، ١٩٧١. (العلوم البحرية عند العرب، ج ١، ق ٢)

ابن ماجد، شهاب الدين أحمد بن ماجد بن محمد السعدي. ثلاث أزهار في معرفة البحار. تحقيق ونشر تيودور شومفسكي؛ ترجمة وتعليق محمد منير مرسى. القاهرة: عالم الكتب، ١٩٦٩.

ابن الهيثم، أبو علي محمد بن الحسن. الشكوك على بطليموس. تحقيق عبد الحميد صبره ونيل الشهابي؛ تصدير إبراهيم مذكور. القاهرة: مطبعة دار الكتب، ١٩٧١.

أروسيوس، باولوس. تاريخ العالم. تحقيق عبد الرحمن بدوي. بيروت: [د. ن.]. ١٩٨٢.

البيروني، أبو الريحان محمد بن أحمد. القانون للمعدي. صحح عن النسخ القديمة الموجودة في المكاتب الشهيرة، تحت إعاونة وزارة معارف الحكومة العالية الهندية. حيدر آباد الدكن: مطبعة مجلس دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٤ - ١٩٥٦. ٣ ج.

———. كتاب في تحقيق ما للهند. حيدر آباد الدكن: [د. ن.]. ١٩٥٨.

راشد، رشدي. تاريخ الرياضيات العربية بين الجبر والحساب. ترجمة حسين زين الدين. بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، ١٩٨٩. (سلسلة تاريخ العلوم عند العرب؛

(١

شهاب، حسن صالح. للدليل البحري عند العرب. الكويت: مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، ١٩٨٣.

———. طرق الملاحة التقليدية في الخليج العربي. الكويت: [د. ن.]. ١٩٨٤.

———. فن الملاحة عند العرب. بيروت: دار العودة؛ صنعاء: مركز الدراسات والبحوث اليمني، ١٩٨٢.

الصوفي، عبد الرحمن بن عمر. كتاب صور الكواكب الثمانية والأربعين. حيدر آباد الدكن: جمعية دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٣. أعيد طبعه في: بيروت: دار الآفاق الجديدة، ١٩٨١.

المرضي، مؤيد الدين. تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين المرضي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ - ١٢٦٦م): كتاب الهيئة. بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، ١٩٩٠. (سلسلة تاريخ العلوم عند العرب؛ ٢)

عيسى، محمد عبد الحميد. تاريخ التعليم في الأندلس. القاهرة: دار الفكر العربي، ١٩٨٢. الفرغاني. كتاب في الحركات السماوية وجوامع علم النجوم. نشر النص العربي Golius. [امستردام: د. ن.، ١٦٦٩].

الفقطي، أبو الحسن علي بن يوسف. تاريخ الحكماء: وهو مختصر الزوذي المسمى بالمنتخبات للملفطات من كتاب إخبار العلماء بأخبار الحكماء. تحقيق يوليوس ليرت. ليزنغ: ديتريخ، ١٩٠٣.

الكندي، أبو يوسف يعقوب بن اسحق. كتاب في الصناعة المظلمة. تحقيق ونشر عزمي طه السيد أحمد. قبرص: دار الشباب، ١٩٨٧.

المقري، أبو العباس أحمد بن محمد. نفح الطيب من غصن الأندلس الرطيب. تحقيق إحسان عباس. بيروت: دار صادر، ١٩٦٨. ٨ ج.

المهري، سليمان بن أحمد بن سليمان. رسالة قلادة الشموس واستخراج قواعد الأموس. تحفة  
الفحول في تمهيد الأصول في أصول علم البحر. كتاب شرح تحفة الفحول في تمهيد  
الأصول في أصول علم البحر. تحقيق إبراهيم خوري. دمشق: مطبوعات مجمع اللغة  
العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٢. (العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل،  
القسم ١)

———. العملة المهرية في ضبط العلوم البحرية. تحقيق إبراهيم خوري. دمشق: مطبوعات  
مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٠. (العلوم البحرية عند العرب، تحقيق  
وتحليل، القسم ١)

———. المنهاج الفاخر في علم البحر الزاخر. تحقيق إبراهيم خوري. دمشق: مطبوعات  
مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٠. (العلوم البحرية عند العرب، تحقيق  
وتحليل، القسم ١)

تالينو، كارلو ألفونسو. علم الفلك: تاريخه عند العرب في القرون الوسطى. روما: مطبعة  
روما، ١٩١١.

#### دوريات

شوكت، إبراهيم. «خرائط جغرافية العرب الأول». مجلة الأستاذ (بغداد): السنة ٢،  
١٩٦٢.

*Books*

- Abenbêder. *Compendio de Algebra de Abenbêder*. Texto árabe, traducción y estudio por José A. Sánchez Pérez. Madrid: [n. pb.], 1916.
- Abraham bar Hiyya ha-Nasi. *La Obra enciclopédica; yéso dé ha-têbná u-migdal haémundá*, de Abraham bar Hiyya ha-Bargeloní. Ed. crítica con traducción, prólogo y notas, por José M<sup>a</sup>. Millás Vallicrosa. Madrid: [n. pb.], 1952.
- . *La Obra Séfer Hešbón mahleket ha-kokabim (Libro del cálculo de los movimientos de los astros)*. Ed. crítica, con traducción, introd. y notas por José M<sup>a</sup>. Millás Vallicrosa. [Barcelona]: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Arias Montano, 1959.
- Albategnius. *Al-Battānī, sive Albatēnī Opus Astronomicum (al-Zī al-Šābīʿ)*. Edition du texte arabe, traduction latine et commentaire par Carolo Alphonso Nallino. Milano: Mediolani Insubrum, Prostat apud U. Hoeplium, 1899 - 1907. (Publicazioni del Reale osservatorio di Brera in Milano, I-III). 3 vols. Réimprimé en 1 vol. Hildesheim; New York: G. Olms, 1977.
- Albuquerque, Luis Guilherme Mendonça de. *Quelques commentaires sur la navigation orientale*. Paris: Arquivos do Centro Cultural, Fondation C. Gulbenkian, 1972.
- Allan, J. W. *Persian Metal Technology, 700 - 1300 A.D.* London; Oxford: [n. pb.], 1979.
- Altmann, Alexander (ed.). *Jewish Medieval and Renaissance Studies*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1967.
- ʿArib Ibn Šāʾid al-Kātib al-Qurtubī. *Le Calendrier de Cordoue*. Publié par R. Dozy. Nouvelle édition accompagnée d'une traduction française annotée par Ch. Pellat. Leiden: E. J. Brill, 1961. (Medieval Iberian Peninsula, Texts and Studies; v. 1)
- Arié, Rachel. *L'Espagne musulmane au temps des Nasrides (1232 - 1492)*. Paris: Boccard, 1973.
- Asín Palacios, Miguel. *Glosario de voces romances, registradas por un botánico anónimo hispano-musulmán (siglos XI - XII)*. Madrid - Granada: [n. pb.], 1943.
- Bagrow, Leo. *The Vasco Gama's Pilot*. Genova: Civico Instituto Colombiano, [1951?].

- Barceló, M. C. *Minorías islámicas en el país valenciano: Historia y dialecto*. Valencia: [n. pb.], 1984.
- Bassermann- Jordan, Ernst von (ed.). *Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren*. Berlin; Leipzig: Vereinigung Wissenschaftlicher Verleger; W. De Gruyter, 1920 - 1925.
- Berggren, J. L. and Bernard Raphael Goldstein (eds.). *From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe*. Copenhagen: [n. pb.], 1987.
- Bianqueri, J. A. *Libro de Agricultura*. Madrid: [n. pb.], 1802. Réimprimé avec une étude de E. Garía Sánchez et J. E. Hernandez Bermejo. Madrid: [n. pb.], 1988.
- Al-Bīrūnī, Abu al-Rayhan Muhammad Ibn Ahmad. *Kitāb maqālīd 'ilm al-hay'a: La Trigonométrie sphérique chez les arabes de l'est à la fin du X<sup>e</sup> siècle*. Edition, traduction et commentaire par Marie-Thérèse Debarnot. Damas: Institut français de Damas, 1985.
- . *Tahdīd al-amākin*. Edition critique par P. G. Bulgakov. Le Caire: Majallat al-Makhtūtāt al-'Arabiyya, 1962; English translation: *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities*. A translation from the arabic of al-Bīrūnī's *Kitāb tahdīd al-amākin li-tashīh masāfāt al-masākin* by Jamil Ali. Beirut: American University of Beirut, 1967. (Centennial Publications/ American University of Beirut)
- Al-Bīrūnī Commemoration Volume*. Calcutta: Iran Society, 1951.
- Al - Bitrūjī, Nūr al-Dīn Abū Ishāk. *De motibus celorum*. Critical edition of the latin translation of Michael Scot, edited by Francis J. Carmody. Berkeley, Calif.: University of California Press, 1952.
- . *On the Principles of Astronomy*. An edition of the arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic - hebrew - english glossary by Bernard R. Goldstein. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971. 2 vols. (Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7)
- Björnbo, Axel Anthon and Heinrich Suter. *Thabits Werk über den Transversalsatz (Liber de figura sectoris)*. Erlangen: M. Meocke, 1924.
- Bolens, Lucie. *Agronomes andalous du moyen âge*. Genève: Droz, 1981. (Études et documents/ publiés par le département d'histoire générale de la faculté des lettres de l'Université de Genève; 13)
- Brice, William C. (ed.). *An Historical Atlas of Islam*. Leiden: E. J. Brill, 1981.

- Brieux, A. et F. Maddison. *Répertoire des facteurs d'astrolabes et de leurs œuvres*. Avec la collaboration de Ludvig Kalus et Yûsuf Râghib. Paris: Editions du CNRS, [sous presse]. 3 vols. 1<sup>ère</sup> partie: «Islam plus Byzance, Arménie, Géorgie et Inde».
- Campano Novarese. *Campanus of Novara and Medieval Planetary Theory: Theorica Planetarum*. Edited with an introduction, english translation and commentary by Francis S. Benjamin and G. J. Toomer. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press, 1971. (University of Wisconsin Publications in Medieval Science; 16)
- Carandell, J. *Risâla fi 'ilm al-zîlâl de Muḥammad Ibn al-Raqqâm al-Andalusî*. Barcelona: [n. pb.], 1988.
- [et al.]. *Instrumentos astronómicos en la España medieval. Su influencia en Europa*. Convento de San Francisco, Santa Cruz de la Palma, junio - julio 1985. Madrid: Ministerio de Cultura, 1985.
- Carmody, Francis James. *Arabic Astronomical and Astrological Sciences in Latin Translation: A Critical Bibliography*. Berkeley, Calif.: University of California Press, 1956.
- . *The Astronomical Works of Thâbit b. Qurra*. Berkeley, Calif.: University of California Press, 1960.
- Chumovski, T. A. *Thalâth rāḥmanajât maḥāla li Ahmad b. Mâjid*. Texte arabe et traduction russe. Moscou, Leningrad: [n. pb.], 1957.
- Comes, M. *Ecuatorios - andalusies, Ibn al-Samḥ, al-Zarqālluh y Abū-l-Ṣalt*. Barcelona: [n. pb.], 1991.
- Copernicus. *De Revolutionibus*. Translated by Charles Glenn Wallis. Chicago, Ill.: [n. pb.], 1952.
- Cruz Hernandez, M. *Abū-l-Walīd Ibn Rushd: Vida, obra, pensamiento, influencia*. Córdoba: [n. pb.], 1986.
- Dahan, Gilbert (ed.). *Les Juifs au regard de l'histoire: Mélanges en l'honneur de Bernhard Blumenkranz*. Paris: Picard, 1985.
- De Astronomia Alphonsi Regis*. Barcelona: [n. pb.], 1987.
- Deetz, Charles Henry and Oscar S. Adams. *Elements of Map Projection with Applications to Map and Chart Construction*. 5<sup>th</sup> ed. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1945. (U.S. Coast and Geodetic Survey, Special Publication no. 68)
- Dictionary of Scientific Biography*. New York: Scribner, 1970 - 1990. 18 vols.
- Diophante. *Les Arithmétiques*. Vols. 3 et 4, édition et traduction du texte arabe



- par Roshdi Rashed. Paris: Les Belles lettres, 1984. (Collection des universités de France)
- Disertaciones y Opúsculos*. Madrid: [n. pb.], 1928.
- Djebbar, J. «Deux mathématiciens peu connus de l'Espagne du XI<sup>e</sup> siècle: Al-Mu'taman et Ibn Sayyid.» (Paris, Université Paris-Sud, département de mathématique, 1984). (Polycopié).
- Dozy, Reinhart Pieter Anne (ed. et tr.). *Description de l'Afrique et de l'Espagne*. Texte arabe pub. pour la première fois d'après les man. de Paris et d'Oxford avec une traduction, de notes et un glossaire par R. Dozy et M. J. de Goeje. Leiden: E. J. Brill, 1866. Réimprimé, Amsterdam: Oriental Press, 1969.
- Dubler, César E. and E. Terès. *La «Materia Médica» de Dioscórides: Transmisión medieval y renacentista*. Barcelona: [Tipografía Emporium], 1953 - 1957. 5 vols.
- Duhem, Pierre Maurice Marie. *Études sur Léonard de Vinci*. Paris: A. Hermann, 1906 - 1913. 3 vols.
- . *Le Système du monde: Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. Paris: A. Hermann, 1914-1959. 10 vols.
- Encyclopedia Iranica*. Edited by Ehsan Yarshater. London: Routledge and Kegan Paul, 1986-1987.
- Encyclopédie de l'Islam*. 2<sup>ème</sup> éd. Leiden: E. J. Brill, 1960 -. 6 vols. parus.
- Estudios sobre Historia de la Ciencia árabe*. Editados por Juan Vernet. Barcelona: Instituto de Filología, Institución «Milá y Fontanals», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1980.
- Études d'orientalisme dédiées à la mémoire de Lévi-Provençal*. Paris: G. - P. Maisonneuve et Larose, 1962. 2 vols.
- Al-Farghānī. *Al Farghani Differentie scientie astrorum*. Edited by Francis J. Carmody. Berkeley, Calif.: [n. pb.], 1943.
- . *Alfragano (al-Fargānī) Il 'Libro dell'aggregazione dell stelle'*. Pubblicato con introduzione e note da Romeo Campani. Città di Castello: S. Lapi, 1910. (Collezione di Opuscoli Danteschi inediti o rari; 87 - 90)
- Ferrand, Gabriel. *L'Élément persan dans les textes nautiques arabes des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles*. Paris: Imprimerie nationale, 1924.
- (ed.). *Instructions nautiques et routiers arabes et portugais des XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles*. Paris: Geuthner, 1921 - 1928. 3 vols.
- Tome I et II: Textes arabes.

Tome III: *Introduction à l'astronomie nautique arabe.*

- Fischer, Josef. *Claudii Ptolemæi Geographiæ Codex Urbini Græcus* 82. Leiden: E. J. Brill, 1932. 3 vols.
- García Ballester, Luis. *Historia social de la medicina en la España de los siglos XIII al XVI*. Madrid: Akal, 1976 -. (Colección Textos)  
Vol. 1: *La minoría musulmana y morisca*.
- . *Los moriscos y la medicina: Un capítulo de la medicina y la ciencia marginadas en la España del siglo XVI*. Barcelona: Labor, 1984. (Labor Universitaria. Monografías)
- García Sánchez, E. (éd.). *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios*. Granada: [n. pb.], 1990.
- Gauthier, Léon. *Ibn Rochd (Averroès)*. Paris: Presses universitaires de France, 1948. (Les Grands philosophes)
- Gerardus. *Theorica planetarum Gerardi*. Edited from 14 copies by Francis J. Carmody. Berkeley, Calif.: [n. pb.], 1942.
- Glick, Thomas F. *Irrigation and Society in Medieval Valencia*. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 1970.
- Goblot, Henri. *Les Qanats: Une technique d'acquisition de l'eau*. Paris; New York: Mouton, 1979. (Industrie et artisanat; 9)
- Goitein, Solomon Dob Fritz. *A Mediterranean Society; the Jewish Communities of the Arab World as Portrayed in the Documents of the Cairo Geniza*. Berkeley, Calif.: University of California Press, 1967.
- Goldstein, Bernard Raphael. *The Astronomical Tables of Levi ben Gerson*. New Haven, Conn.: Connecticut Academy of Arts and Sciences, 1974. (Transactions - Connecticut Academy of Arts and Sciences; v. 45)
- . *The Astronomy of Levi ben Gerson*. New York: Springer - Verlag, 1985. (Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 11)
- . *Theory and Observation in Ancient and Medieval Astronomy*. London: Variorum Reprints, 1985. (Variorum Reprint; CS 215)
- Grant, Edward (ed.). *A Source Book in Medieval Science*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974. (Source Books in the History of the Sciences)
- Grosset - Grange, Henri. *Glossaire du parler maritime arabe, autrefois et aujourd'hui*. [Sous presse, 1992?].
- Guichard, Pierre. *Structures sociales «orientales» et «occidentales» dans l'Espagne musulmane*. Paris: Mouton, 1977. (Civilisations et sociétés; 60)

- Hamarneh, Sami Khalaf and Glenn Sonnedeker. *A Pharmaceutical View of Abulcasis (al-Zahrāwī) in Moorish Spain, with a Special Reference to the «Adhān»*. Leiden: E. J. Brill, 1963. (Janus, Suppléments; v. 5)
- Hartner, Willy. *Oriens, Occidens*. Hildesheim: G. Olms, 1968. (Collectanea; 3)
- . *The Principle and Use of the Astrolabe*. Paris: Société internationale de l'Astrolabe, 1978. (Astrolabica; no. 1)
- Al-Hāshimī, 'Alī Ibn Sulaymān. *The Book of the Reasons behind Astronomical Tables = Kitāb fi 'ilal al-zījāt*. Reproduction of the unique arabic text contained in the Bodleian ms. arch. Seld A. 11, with a translation by Fuad I. Haddad and E. S. Kennedy and a commentary by David Pingree and E. S. Kennedy. Delmar, N. Y.: Scholar's Facsimiles and Reprints, 1981. (Studies in Islamic Philosophy and Science)
- Haskins, Charles Homer. *Studies in the History of Mediaeval Science*. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Harvard University Press, 1927. Reprinted, New York: Ungar Pub. Co., 1960.
- Histoire littéraire de la France*. Paris: Imprimerie nationale, 1733 - 1944. 38 vols.
- Hoernerbach, Wilhelm. *Deutschland und sein Nachbarländer nach der grossen Geographie des Idrišī*. Stuttgart: [n. pb.], 1937.
- Homenaje a Manuel Ocaña Jiménez*. Córdoba: Junta de Andalucía, Consejería de Cultura, 1990.
- Homenaje a Millás - Vallicrosa*. Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1954 - 1956. 2 vols.
- Homenaje al Prof. Darío Cabanelas O.F.M. con motivo de su LXX aniversario*. Granada: [n. pb.], 1987.
- Hommage à Georges Vajda*. Louvain: [s.n.], 1980.
- Honigmann, Ernst. *Die sieben Klimata*. Heidelberg: C. Winter's Universitätsbuchhandlung, 1929.
- Ibn Ezra, Abraham ben Meir. *El libro de los fundamentos de las Tablas astronómicas*. Ed. crítica, con introducción y notas por José M<sup>a</sup>. Millás Vallicrosa. Madrid: [n. pb.], 1947.
- Ibn Hudhayl al-Andalusī, 'Alī Ibn 'Abd al-Rahmān. *Gala de caballeros, bálson de paladines*. Edición preparada por María Jesús Viguera. Madrid: Editora Nacional, [1977]. (Biblioteca de la literatura y el pensamiento hispánicos; 24)
- Ibn Luyūn. *Tratado de Agricultura*. Edition et traduction espagnole de J.

Eguaras. Grenade: [s. n.], 1975.

Ibn al-Muthannā, Ahmad. *El comentario de Ibn al-Muthannā a las tablas astronómicas de al-Jwārizmī*. Estudio y edición crítica del texto latino en la versión de Hugo Sanctallensis, por Eduardo Millás Vendrell. Madrid, Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Asociación para la Historia de la Ciencia Española, 1963.

———. *Ibn al-Muthannā's Commentary on the Astronomical Tables of al-Khwārizmī*. Two hebrew versions, edited and translated, with an astronomical commentary by Bernard R. Goldstein. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1967. (Yale Studies in the History of Science and Medicine; 2)

Ibn al-Nadīm, Muḥammad Ibn Ishāq. *Kitāb al-Fihrist*. Mit Anmerkungen hrsg. von Gustav Flügel; nach dessen Tode von Johannes Roediger und August Mueller. Leipzig: F. C. W. Vogel, 1871 - 1872. 2 vols; Traduction anglaise par: Bayard Dodge (ed. and tr.). *The Fihrist of al-Nadīm: A Tenth - Century Survey of Muslim Culture*. New York: Columbia University Press, 1970. 2 vols. (Columbia Records of Civilization, Sources and Studies; no. 83)

Ibn Rushd. *Kitāb al-Kullīyyāt*. Edition critique par J. M. Forneas et C. Alvares Morales. Madrid: [s. n.], 1987.

Ibn al-Salāh, Ahmad Ibn Muḥammad. *Zur Kritik der Koordinatenüberlieferung im Sternkatalog des Almagest*. Edition et traduction par Paul Kunitzsch. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1975. (Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Philologisch - Historische Klasse; Folge 3, Nr. 94)

Ibn Yūnus. *Le Livre de la grande table hakémitte*. Partiellement éditée et traduite en français par Caussin, édition séparée des «Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale». Paris: Imprimerie de la République, an XII (1804).

Al-Idrīsī. *India and the Neighboring Territories in the Kitāb nuzhat al-muḥtāq fi-l-Khitāq al-āḥāq of al-Sharīf al-Idrīsī*. A translation, with commentary, of the passages relating to India, Pakistan, Ceylon, parts of the Afghanistan and the Andaman, Nicobar and Maldiv Islands, etc, by S. Maqbul Ahmad, with a foreword by V. Minorsky. Leiden: E. J. Brill, 1960. (Publications of the De Goeje Fund; 20)

———. *Opus Geographicum*. Sous la direction de l'Institut Orientali de Naples. Leiden: E. J. Brill, 1970 -.

Jaubert, A. *La Géographie d'Edrisi*. Paris: [s. n.], 1836 - 1840. Réimprimé, Amsterdam: Philo Press, 1975.

Kammerer, Albert (ed. et tr.). *Le Routier de dom Joam de Castro*:

- L'Exploration de la Mer Rouge par les Portugais en 1541*. Paris: Geuthner, 1936.
- Kazemi and R. B. McChesney (eds.). *Islam and Society: Arabic and Islamic Studies in Honor of Bayly Winder*. New York: New York University Press, 1988.
- Kazemi, Farhad and R. D. McChesney (eds.). *A Way Prepared: Essays on Islamic Culture in Honor of Richard Bayly Winder*. New York: New York University Press, 1988.
- Kennedy, Edward Stewart. *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Tahdīd al-Amākin: An 11<sup>th</sup> Century Treatise on Mathematical Geography*. Beirut: American University of Beirut, 1973.
- . *The Planetary Equatorium of Jamshīd Ghiyāth al-Dīn al-Kāshī (d. 1429): An Edition of the Anonymous Persian Manuscript 75 < 44b > in the Garrett Collection at Princeton University, Being a Description of Two Computing Instruments: The Plate of Heavens and the Plate of Conjunctions*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1960. (Princeton Oriental Studies; v. 18)
- and I. Ghanem. *The Life and Work of Ibn al-Shāṭir: An Arab Astronomer of the Fourteenth-Century*. Aleppo: Institute for the History of Arabic Science, 1976.
- Kennedy, Edward Stewart and M. H. Kennedy. *Geographical Coordinates of Localities from Islamic Sources*. Frankfurt, A. M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, 1987.
- Kennedy, Edward Stewart [et al.]. *Studies in the Islamic Exact Sciences*. Beirut: American University of Beirut, 1983.
- Képler. *Gesammelte Werke*. Bd. VII. Edited by M. Caspar. Munich: [n. pb.], 1953.
- Al-Khuwārizmī, Muḥammad Ibn Mūsā. *Das Kitāb Sūrat al-Ard des Abū Ga'far Muḥammad Ibn Mūsā al-Huwārizmī*. Ed. Hans von Mīlik. Leipzig: Otto Harrassowitz, 1926. (Bibliothek Arabischer Historiker und Geographen; 3 Bd.)
- King, David A. *Islamic Astronomical Instruments*. London: Variorum Reprints, 1986.
- . *Islamic Mathematical Astronomy*. London: Variorum Reprints, 1986. (Variorum Reprint; CS 231)
- . *Studies in Astronomical Timekeeping in Islam*. New York: Springer-Verlag, [n. d.].
- Vol. 1: *A Survey of Tables for Reckoning Time by the Sun and Stars*.

Vol. 2: *A Survey of Tables for Regulating the Times of Prayer.*

- and George Saliba (eds.). *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*. New York: New York Academy of Sciences, 1987. (Annals of the New York Academy of Sciences; v. 500)
- Kunitzsch, Paul. *Arabische Sternnamen in Europa*. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1959.
- . *Der Almagest: Die Syntaxis Mathematica des Claudius Ptolemäus in Arabisch - lateinischer Überlieferung*. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1974.
- . *Typen von Sternverzeichnissen in Astronomischen Handschriften des Zehnten bis Vierzehnten Jahrhunderts*. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1966.
- Al-Kuwārizmī, Abū 'Abd Allāh Muḥammad Ibn Ahmad. *Liber mafātīh al-olūm, explicans vocabula technica scientiarum tam arabum quam peregrinorum, auctore Abū Abdallah Mohammed Ibn Ahmed Ibn Jūsuf al-Kātib al-Khowarezmi*. Edidit et indices adjecit G. Van Vloten. Lugduni-Batavorum: E. J. Brill, 1895. Réimprimé, Leiden: E. J. Brill, 1968.
- Lane, Edward William. *The Manners and Customs of the Modern Egyptians*. 3<sup>rd</sup> ed. London: J. M. Dent and Co.; New York: E. P. Dutton and Co., [1908]. (Everyman's Library, Travel and Topography; no. 315)
- Langermann, Y. Tzvi. *The Jews of Yemen and the Exact Sciences*. Jerusalem: [n. pb., n. d.]. In hebrew with an english summary.
- Langlès (ed.). *Voyages du chevalier Chardin en Perse, et autres lieux d'orient*. Paris: [s. n.], 1811. 10 vols.
- Lech, K. *Geschichte des Islamischen Kultus*. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, [n. d.] Bd. 2: *Das Gebet*.
- Lemay, Richard Joseph. *Abu Ma'shar and Latin Aristotelianism in the Twelfth Century: The Recovery of Aristotle's Natural Philosophy through Arabic Astrology*. Beirut: American University of Beirut, 1962. (American University of Beirut, Publication of the Faculty of Arts and Sciences, Oriental Series; no. 38)
- López, A. C. *Kitāb fi tartīb awqāt al-ḡirāsa wa-l-maḡrūsāt: Un tratado agrícola andalusí anónimo*. Granada: [n. pb.], 1990.
- Maddison, F. and A. J. Turner. *Catalogue of an Exhibition «Science and Technology in Islam» Held at the Science Museum, London, April-August 1976, in Association with the Festival of Islam*. (Unpublished).

- Al-Marrākushī, Abū 'Alī al-Hasan Ibn 'Alī. *Traité des instruments astronomiques des arabes composé au treizième siècle par Aboul Hassan Ali du Maroc...* Traduit de l'arabe par J. J. Sédillot et publié par L. A. Sédillot. Paris: Imprimerie royale, 1834 - 1835. 2 vols. Réimprimé, Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften, 1985.
- Al- Mas'ūdī. *Kitāb al-tanbīh wa'l-ishrāf*. Edidit M. J. de Goeje. Lugduni - Batavorum: E. J. Brill, 1894. Réimprimé, Beyrouth: Khayat, 1965; Traduction française: *Le Livre de l'avertissement et de la révision*. Traduit par Carra de Vaux. Paris: Imprimerie nationale, 1896.
- . *Murūj al - Dhahab (Les Prairies d'or)*. Édité et traduit par C. Barbier de Meynard et Pavet de Courteille. Paris: Imprimerie impériale, 1861 - 1917; 1861 - 1930. 9 vols. (Collection d'ouvrages orientaux publiée par la société asiatique)
- Mélanges Alexandre Koyré*. Paris: Hermann, 1964. 2 vols. (Histoire de la pensée; 12 - 13)  
Vol. 1: *L'Aventure de la science*.
- Mémoires présentés à l'Institut d'Egypte*. Le Caire: [s. n.], 1940.
- Mendelsohn, Everett (ed.). *Transformation and Tradition in the Sciences: Essays in Honor of I. Bernard Cohen*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1984.
- Meyerhof, Max and G. P. Sobhy (eds. and trs.) *The Abridged Version of «The Book of Simple Drugs» of Aḥmad Ibn Muḥammad al-Ghāfiqī by Gregorius Abū'l - Farag (Barhebraeus)*. Cairo: [n. pb.], 1932 - 1940.
- Michel, Henri. *Traité de l'astrolabe*. Préface de Ernest Esclançon. Paris: Gauthier - Villars, 1947. Réimprimé, 1983.
- Millás Vallicrossa, José María. *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya medieval*. Barcelona: Institució Patxot, 1931 -. ([Barcelona], Estudis universitaris catalans, série monogràfica; I)
- . *Estudios sobre Azarquiel*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto «Miguel Asín», Escuelas de Estudios Arabes de Madrid y Granada, 1943 - 1950.
- . *Las traducciones orientales en los manuscritos de la Biblioteca Catedral de Toledo*. Madrid: [n. pb.], 1942.
- . *Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española*. Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1960.
- Miller, Konrad. *Mappæ Arabica, Arabische Welt-und Länderkarten*. Stuttgart: Selbstverlag des Herausgebers, 1926 - 1931. 6 vols.

- . *Weltkarte des Arabers Idrisi vom Jahre 1154* (Neudruck des 1928 erschienenen Werkes). Stuttgart: Brockhaus, 1981.
- Molina, L. (éd.). *Una descripción anónima de al-Andalus*. Madrid: [n. pb.], 1983.
- Moses ben Maimon. *Le Guide des égarés*. Traité de théologie et de philosophie par Moïse ben Maimoun, dit Maïmonide. Publié pour la première fois dans l'original arabe et accompagné d'une traduction française et de notes critiques, littéraires et explicatives par S. Munk. Paris: A. Franck, 1856 - 1866. 3 vols. Réimprimé, Paris: G. - P. Maisonneuve, 1960.
- . *Sanctification of the New Moon*. Translated from the hebrew by S. Gandz, with supplementation and an introduction by J. Obermann, and an astronomical commentary by O. Neugebauer. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1956. (His the Code of Maimonides, Book 3, Treatise 8)
- Müller, D. H. *Al-Hamdānī's Geographie der Arabischen Halbinsel*. Leiden: [n. pb.], 1884.
- Nafis, Ahmad. *Muslim Contribution to Geography*. Lahore: M. Ashraf, [1947].
- Nallino, Carlo Alfonso. *Raccolta di scritti editi e inediti*. A cura di Maria Nallino. Roma: Istituto per l'Oriente, 1939 - 1948. 6 vols. (Pubblicazione dell'Istituto per l'Oriente)
- Nedkov, Boris. *B'lgariya i c'ednite i zemi prez XII bek spored «geografiyata» na Idrisi*. Sofia: Nauka i Iskustvo, 1960.
- Needham, Joseph and Wang Ling (eds.). *Science and Civilisation in China*. Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1954 -. vol. 3: *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth*.
- Neugebauer, Otto. *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī*. Translated with commentary of the latin version. Copenhagen: [n. pb.], 1962.
- . *Astronomy and History: Selected Essays*. New York: Springer - Verlag, 1983.
- . *The Exact Sciences in Antiquity*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Dover Publications, 1957. Traduction française par P. Souffrin. *Les Sciences exactes dans l'antiquité*. Arles: Actes Sud, 1990.
- . *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. New York: Springer-Verlag, 1975. 3 vols. (Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 1)
- North, John David. *Richard of Wallingford: An Edition of His Writings*. Oxford: Clarendon Press, 1976. 3 vols.



- Oliver Asín, Jaime. *Historia del nombre «Madrid»*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Miguel Asín, 1959.
- Oriente e occidente nel Medioevo: Filosofia e Scienze. Roma: Accademia dei Lincei, 1971.
- Pedersen, Olaf. *A Survey of the Almagest*. Odense: Odense Universitetsforlag, 1974. (Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium; 30)
- Peurbach, Georg von. *Theorica nova planetarum*. Nuremberg: Johannes Müller Regiomontanus, 1472. Reproduit dans: Johannes Mueller Regiomontanus. *Joannis Regiomontani Opera Collectanea*. Faksimiledrucke von neun Schriften Regiomontans und einer von ihm gedruckten Schrift seines Lehrers Purbach. Zusammengestellt und mit einer Einleitung hrsg. von Felix Schmeidler. Osnabrück: O. Zeller, 1949; 1972.
- Philopon, Jean. *Traité de l'astrolabe*. Édité et commenté par A. Segonds. Paris: Société internationale de l'Astrolabe, 1981. (Astrolabica; no. 2)
- Plooi, Edward Bernard. *Euclid's Conception of Ratio and His Definition of Proportional Magnitudes as Criticized by Arabian Commentators (Including the Text in Facsimile with Translation of the Commentary on Ratio of Abū 'Abd Allāh Muḥammad Ibn Mu'ādh al-Djāḥī)*. Rotterdam: W. J. van Hengel, [1950].
- Pouille, Emmanuel. *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatoires et horlogerie planétaire du XIII<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle*. Paris: Dröz - Champion, 1980. 2 vols. (Hautes études médiévales et modernes; 42)
- Ptolemaeus, Claudius. *L'Almageste*: Edition du texte grec par J. L. Heiberg. Leipzig: Teubner, 1898 - 1903; Traduction française par N. Halma. Paris: [s. n.], 1813-1816. Réimprimé, Paris: Hermann, 1927; Edition et traduction allemande de deux versions arabes du catalogue d'étoiles: Claudius Ptolemäus. *Der Sternkatalog des Almagest, Die Arabisch-mittelalterliche Tradition, I, Die Arabischen Übersetzungen*. Edition et traduction de Paul Kunitzsch. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1986.
- . *Claudii Ptolemai Geographia*. Edited by C. F. A. Nobbe. Leipzig: [n. pb.], 1843 - 1845. 2 vols. Reprinted in 1 vol. Hildesheim: [n. pb.], 1966.
- . *Le Livre des hypothèses*: Traduction française par N. Halma de la première partie du livre I, *Hypothèses et époques des planètes de Cl. Ptolémée*. Paris: Merlin, 1820; Edition du texte grec de la première partie du livre I et traduction de l'allemand sur l'arabe du livre II par L. Nix, *Claudii Ptolemai Opera quae extant omnia*. Leipzig: Teubner, 1907. Vol. II: *Opera Astronomica minora*.
- . *Phases*: Traduction française du livre II par N. Halma, *Chronologie de Ptolémée... Apparition des fixes, ou calendrier de Ptolémée*. Paris: Bobée,

- . *Tables Faciles. Commentaire de Théon d'Alexandrie sur les tables manuelles astronomiques de Ptolémée*, traduit par N. Halma, I - III. Paris: Bobée, 1822 - 1825. Réimprimé, Paris: Blanchard, 1990.
- Ptolemy. *Ptolemy's Almagest*. Translated and annotated by G. J. Toomer. New York: Springer - Verlag, 1984.
- Puig, Roser. *Los tratados de construcción y uso de la azafra de Azarquiel*. Madrid: Instituto Hispano - Árabe de Cultura, 1987. (Cuadernos de Ciencias; 1)
- Raeder, Hans Henning, Elis Strömgren and Bengt Strömgren (eds. and trs.). *Tycho Brahe's Description of His Instruments and Scientific Work, as Given in Astronomiae Instauratae Mechanica*. København: I. Kommission hos E. Munksgaard, 1946.
- Rashed, Roshdi. *Entre arithmétique et algèbre: Recherches sur l'histoire des mathématiques arabes*. Paris: Les Belles lettres, 1984. (Collection sciences et philosophie arabes)
- Regiomontanus, Johannes Mueller. *Eptoma in Almagestum*. Venice: Johannes Hamman, 1496. Reproduit dans: Johannes Mueller Regiomontanus. *Joannis Regiomontani Opera Collectanea*. Faksimiledrucke von neun Schriften Regiomontans und einer von ihm gedruckten Schrift seines Lehrers Purbach. Zusammengestellt und mit einer Einleitung hrsg. von Felix Schmeidler. Osnabrück: O. Zeller, 1949; 1972.
- Relaciones de la Peninsula Ibérica con el Magreb (siglos XIII - XVI)*. Madrid: [n. pb.], 1988.
- Rhäticus, Georg Joachim. *Narratio prima*. Edition critique, traduction française, commentaire par H. Hugonnard - Roche et J. P. Verdet, avec la collaboration de M. P. Lerner et A. Segonds. Wrocław: Ossolineum, 1982. (Studia Copernicana; 20)
- Rico - Sinobas, Manuel (ed.). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso X de Castilla*. Madrid: Tip de Don E. Aguado, 1863 - 1867. 5 vols.
- Rosenfeld, Boris A. *Muhammad Ibn Musa al-Khorezmi*. Moscow: Nauka, 1983.
- Sā'id Ibn Ahmad al-Andalusī. *Kitāb Ṭabaḳāt al-Umam (Livre des catégories des nations)*. Traduction avec notes et indices précédée d'une introduction par Régis Blachère. Paris: Larose, 1935.
- Saltzer, W. and Y. Maeyama (eds.). *Prismata: Festschrift für Willy Hartner*. Wiesbaden: Franz Steiner, 1977.

- Samsó, Julio. *Estudios sobre Abū Naṣr Maṣṣūr b. 'Alī b. 'Irāq*. Barcelona: [n. pb.], 1969.
- Sarfatti, G. B. *Mathematical Terminology in Hebrew Scientific Literature of the Middle Ages*. Jerusalem: [n. pb.], 1968.
- Saunders, Harold N. *All the Astrolabes*. Oxford, Eng.: Senecio Pub. Co., 1984.
- Savage-Smith, Emilie. *Islamicate Celestial Globes: Their History, Construction and Use*. With a chapter on iconography by A. P. A. Belloli. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1985. (Smithsonian Studies in History and Technology; no. 46)
- Sayili, Aydin Mehmed. *The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Basimevi, 1960. (Publications of the Turkish Historical Society; ser. 7, no. 38)
- Science and History: Studies in Honor of Edward Rosen*. Edited by Erna Hilfstein, Pawel Czartoryski and Frank D. Grande. Wrocław: Ossolineum, 1978. (Studia Copernicana; 16)
- Scientific Change*. London: Heinemann, 1963.
- Sédillot, L.A. *Prolégomènes des tables astronomiques d'Oloûg Beyg*. Paris: Didot, 1853.
- Serjeant, Robert Bertram. *The Portuguese off the South Arabian Coast: Hadrami Chronicles, with Yemeni and European Accounts of Dutch Pirates off Mocha in the Seventeenth Century*. Oxford: Clarendon Press, 1963.
- Serta Gratulatoria in honorem Juan Régulo*. La Laguna: [n. pb.], 1985.  
Vol. 1: *Filología*.
- Sezgin, Fuat. *Geschichte des Arabischen Schrifttums*. Leiden: E. J. Brill, 1967 - 1982. 8 vols.  
Vol. 5: *Mathematik*.  
Vol. 6: *Astronomie*.
- Singer, Charles Joseph [et al.] (eds.). *A History of Technology*. Oxford: Clarendon Press, 1954-1958. 5 vols.
- Steinschneider, Moritz. *Die Hebräischen Übersetzungen*. Berlin: [n. pb.], 1983.
- Studi orientalistici in onore di G. Levi Della Vida*. Rome: [n. pb.], 1956.
- Al-Sūfī, 'Abd al-Rahmān. *Kitāb Sirr al-Kawākib*. Hyderabad: 1953... Traduction française par H. C. F. C. Schjellerup. *Description des étoiles fixes; composée au milieu du dixième siècle de notre ère, par l'astronomie persan 'Abd al-Rahmān al-Sūfī*. St. Pétersbourg: Commissionnaires de l'Académie

- impériale des sciences, 1874. Réimprimé, Frankfurt: [s. n.], 1986.
- Suhrāb. *Das Kitāb 'agā'ib al-akālīm as-sab'a des Suhrāb*. Herausgegeben nach dem handschriftlichen Unikum des Britischen Museums in London/ cod. 23379 add., von Hans v. Mžik. Leipzig: Otto Harrassowitz, 1930. (Bibliothek Arabischer Historiker und Geographen, Bd. 5)
- Suter, Heinrich. *Die Astronomischen Tafeln des Muḥammed Ibn Mūsā al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Madjrīṭī und der latein. Übersetzung des Athelhard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Björnbo und R. Besthorn in Kopenhagen...* hrsg und Kommentiert von H. Suter. Kobenhavn: A. F. Høst and Son, 1914.
- . *Die Mathematiker und Astronomen der Araber und Ihre Werke*. Leipzig: B. G. Teubner, 1900. (Abhandlungen zur Geschichte der Mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen, 10. hft.)
- Swerdlow, Noël M. and Otto Neugebauer. *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*. New York: Springer - Verlag, 1984. 2 vols. (Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 10)
- Les Tables alphonsines; avec, les canons de Jean de Saxe*. Edition, traduction et commentaire par Emmanuel Pouille. Paris: Centre national de la recherche scientifique, 1984. (Sources d'histoire médiévale)
- Tannery, Paul. *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne*. Paris: Gauthier - Villars, 1893.
- Textos y Estudios sobre las Fuentes Arabes de la Astronomía de Alfonso X*. Barcelona: [n. pb.], 1990.
- Thābit Ibn Qurra. *Œuvres d'astronomie*. Texte établi et traduit par Régis Morelon. Paris: Les Belles lettres, 1987.
- Tibbetts, Gerald Randall. *Arab Navigation in the Indian Ocean before the Coming of the Portuguese*. London: Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland, Sold by Luzac, 1971.
- Toomer, G.J. *Revolutions of the Heavenly Spheres*. Chicago, Ill.: Great Books; University of Chicago Press, 1962.
- Torre, Esteban. *Averroes y la ciencia médica: La Doctrina anatomofuncional del Colliget*. Madrid: Ediciones del Centro, 1974. (Ciencia y técnica; 21)
- Türkische Kunst und Kultur des Osmanischen Zeit*. Recklinghausen: Verlag Aurel Bongers, 1985.
- Turner, Anthony John. *The Time Museum: Catalogue of the Collection*. General editor Bruce Chandler. Rockford, Ill.: The Museum, 1984.

Vol. 1: *Time Measuring Instruments.*

Tuulio - Tallgren, Oiva Johannes. *Du nouveau sur Idrisi*. Edition critique, traduction, études par O. J. Tuulio - Tallgren. Helsinki: Imprimerie de la société de littérature finnoise, 1936.

———. *La Finlande et les autres pays baltiques orientaux*. Edition critique du texte arabe, avec facsimilés de tous les manuscrits connus, traduction, étude de la toponymie, aperçu historique, cartes et gravures ainsi qu'un appendice donnant le texte de VII 3 et de VII 5, par O. J. Tuulio - Tallgren et A.M. Tallgren. Helsingforsiae: Societas Orientalis Fennica, 1930.

Twersky, I. *A Maimonides Reader*. New York: [n. pb.], 1972.

Vernet, Juan. *Ce que la culture doit aux arabes d'Espagne*. Traduit de l'espagnol par Gabriel Martínez Gros. Paris: Sindbad, 1985 (La Bibliothèque arabe, collection l'histoire décolonisée); Traduction allemande: *Die Spanisch - arabische Kultur in Orient und Okzident*. Zürich; Munich: [n. pb.], 1984.

———. *La Ciencia en al-Andalus*. Sevilla: [s. n.], 1986.

———. *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval*. Barcelona; Bellaterra: [n. pb.], 1979.

———. *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X*. Barcelona: [n. pb.], 1981.

——— (éd.). *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el Siglo de Alfonso X*. Barcelona: Instituto de Filología, Institución «Milá y Fontanals», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1983.

———. *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII*. Barcelona: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Barcelona, 1981.

Vicaire, M. - H. et B. Blumenkranz (dirs.) *Juifs et Judaïsme de Languedoc*. Toulouse: [s. n.], 1977.

Viladrich, Merce. *El Kitāb al-'amal bi-l-aṣṭarāb (Libre de l'ús de l'astrolabi) d'Ibn al-Samḥ*. Barcelona: [n. pb.], 1986. (Estudi i Traducció)

Villeneuve, Arnaud de. *Aphorismi de gradibus*. Ed. M.R. McVaugh. Granada; Barcelona: [n. pb.], 1975.

Villiers, Alan John. *Sons of Sinābad*. Portway - Bath: Cedric Chivers, 1966.

Villuendas, M. V. *La Trigonometría europea en el siglo XI: Estudio de la obra de Ibn Mu'ādh: El Kitāb ma'yūlāt*. Barcelona: [n. pb.], 1979.

Wiedemann, Bihard E. *Aufsätze zur Arabischen Wissenschaftsgeschichte*.

- Hildesheim; New York: G. Ilms, 1970. 2 vols. (Collectanea; VI)
- Youschkevitch, A. P. *Les Mathématiques arabes (VIII<sup>e</sup> - XV<sup>e</sup> siècles)*. Paris: Vrin, 1976.
- Al-Zarqālluh. *Al-Shakkāziyya - Ibn al-Naqqāsh - Al-Zarqālluh*. Edición, traducción y estudio por Roser Puig. Barcelona: [n. pb.], 1986.
- Periodicals*
- Abbot, Nabia. «Indian Astrolabe Makers.» *Islamic Culture*: vol. 9, no. 1, January 1937.
- Alonso, M. A. «Averroes observador de la naturaleza.» *Al-Andalus*: vol. 5, 1940.
- Asín Palacios, Miguel. «Avempace Botánico.» *Al-Andalus*: vol. 5, 1940.
- Attī, Bachir. «La Bibliographie de *al-Muqni'* d'Ibn Haǧǧāǧ.» *Hespéris-Tamuda*: vol. 19, 1980 - 1981.
- . «Ibn Haǧǧāǧ était-il polyglotte?» *Al-Qanṭara*: vol. 1, 1980.
- . «L'Ordre chronologique probable des sources directes d'Ibn al-'Awwām.» *Al-Qanṭara*: vol. 3, 1982.
- . «L'Origine d'*al-Falāḥa ar-Rūmīya* et du Pseudo-Qusṭā.» *Hespéris-Tamuda*: vol. 13, fascicule unique, 1972.
- Ausejo, E. «Trigonometría y astronomía en el *Tratado del Cuadrante Sennero* (c. 1280).» *Dynamis*: vol. 4, 1984.
- Avezac, Macaya de. «Coup d'œil historique sur la projection des cartes de géographie.» *Bulletin de la société de géographie*: vol. 5, no. 5, 1863.
- Avi - Yonah, R. S. «Ptolemy vs. al-Bitruji: A Study of Scientific Decision - Making in the Middle Ages.» *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 35, 1985.
- Bagrow, Leo. «A Tale from the Bosphorus: Some Impressions from My Work at the Topkapu Saray Library, Summer 1954.» *Imago Mundi*: vol. 12, 1955.
- Barceló, C. et A. Labarta. «Ocho relojes de sol hispano - musulmanes.» *Al-Qanṭara*: vol. 9, 1988.
- Barmore, F. E. «Turkish Mosque Orientation and the Secular Variation of the Magnetic Declination.» *Journal of Near Eastern Studies*: vol. 44, 1985.
- Beeston, A. F. L. «Idrisi's Account of the British Isles.» *Bulletin of the School of Oriental and African Studies*: vol. 13, 1950.
- Bel, A. «Trouvailles archéologiques à Tlemcen: Un cadran solaire arabe.»

*Revue africaine*: vol. 49, 1905.

Berggren, J. L. «Al-Bīrūnī on Plane Maps of the Sphere.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 6, nos. 1 - 2, 1982.

———. «A Comparison of Four Analemmas for Determining the Azimuth of the Qibla.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 4, no. 1, Fall 1980.

———. «The Origins of al-Bīrūnī's Method of the Zijes in the Theory of Sundials.» *Centaurus*: vol. 28, 1985.

——— and Bernard Raphael Goldstein (eds.). «From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe.» *Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium* (Copenhagen): vol. 39, 1987.

Boillot, D. J. «L'Œuvre d'al-Bīrūnī: Essai bibliographique.» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire*: vol. 2, 1955.

Boutelle, Marion. «The Almanac of Azarquiel.» *Centaurus*: vol. 12, no. 1, 1967.

Bruin, Fr. «The Fakhri Sextant in Rayy.» *Al-Bīrūnī Newsletter* (Beirut, American University of Beirut): no. 19, April 1969.

Carabeza, J. M. «La Edición jordana de *al-Muqni'* de Ibn Ḥaṣṣayy: Problemas en torno a su autoría.» *Al-Qanṭara*: vol. 11, 1990.

Carandell, J. «An Analemma for the Determination of the Azimuth of the Qibla in the *Risāla fi 'ilm al-ḡilāl* of Ibn al-Raqqām.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*: Bd. 1, 1984.

———. «Dos cuadrantes solares andalusíes de Medina Azara.» *Al-Qanṭara*: vol. 10, 1989.

———. «Trazado de las curvas de oración en los cuadrantes horizontales en la *Risāla fi 'ilm al-ḡilāl* de Ibn al-Raqqām.» *Dynamis*: vol. 4, 1984.

Carmody, Francis J. «The Planetary Theory of Ibn Rushd.» *Osiris*: vol. 10, 1952.

Caro Baroja, J. «Norias, azudas, aceñas.» *Revista de Dialectología y Tradiciones Populares*: vol. 10, 1954.

Carra de Vaux (Le Baron). «L'Almageste d'Abū-l-Wéḡf' Albūzjdjānī.» *Journal asiatique*: 8<sup>ème</sup> série, tome 19, mai-juin 1892.

Casanova, P. «La Montre du Sultan Noir ad-Dīn (554 de l'Hégire = 1159 - 1160).» *Syria*: vol. 4, 1923.

- Catala, M. A. «Consideraciones sobre la tabla de coordenadas estelares.» *Al-Andalus*: vol. 30, 1965.
- Colin, Georges S. «L'Origine des norias de Fès.» *Hespéris*: vol. 16, 1933.
- . «Un nouveau traité grenadin d'hippologie.» *Islamica*: vol. 6, 1934.
- Cortabarría Beitia, A. «Deux sources de S. Albert le Grand: Al-Bīrūnī et al-Battānī.» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire*: vol. 15, 1982.
- Dallal, Ahmad. «Al-Bīrūnī on Climates.» *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 34, 1984.
- Debarnot, Marie-Thérèse. «Introduction du triangle polaire par Abū Naṣr b. 'Irāq.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 2, no. 1, May 1978.
- Dizer, Muammer. «The Dā'irat al-Mu'addal in the Kandilli Observatory, and Some Remarks on the Earliest Recorded Islamic Values of the Magnetic Declination.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 1, no. 2, November 1977.
- Doncel, M. G. «Quadratic Interpolations in Ibn Mu'adh.» *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 32, 1982.
- Drecker, Joseph. «Das Planisphaerium des Claudius Ptolemaeus.» *Isti*: vol. 9, 1927.
- Eisler, R. «The Polar Sighting Tube.» *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 6, 1949.
- Garbers, Karl. «Ein Werk Thābit b. Qurra's über ebene Sonnenuhren.» *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik*: Abt. A, Bd. 4, 1936.
- García Sánchez, E. «Al-Ṭignarī y su lugar de origen.» *Al-Qanṭara*: vol. 9, 1988.
- . «El tratado agrícola del granadino al-Ṭignarī.» *Quaderni di Studi Arabi*: vols. 5 - 6, 1987 - 1988.
- Goldstein, Bernard Raphael. «The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses*.» Reproduction of the entire arabic manuscript, which contains the second part of book I, and a partial english translation. *Transactions of the American Philosophical Society*: vol. 57, part 4, 1967.
- . «The Book of Eclipses of Masha'allah.» *Physis*: vol. 6, 1964.
- . «Ibn Mu'adh's Treatise on Twilight and the Height of the Atmosphere.» *Archive for History of Exact Sciences*: vol. 17, 1977.



- . «Levi ben Gerson: On Instrumental Errors and the Transversal Scale.» *Journal for the History of Astronomy*: vol. 8, 1977.
- . «On the Theory of Trepidation According to Thābit b. Qurra and al-Zarqāllū and Its Implications for Homocentric Planetary Theory.» *Centaurus*: vol. 10, 1964.
- . «The Role of Science in the Jewish Community in Fourteenth Century France.» *Annals of the New York Academy of Sciences*: vol. 314, 1978.
- . «Star Lists in Hebrew.» *Centaurus*: vol. 28, 1985.
- . «The Status of Models in Ancient and Medieval Astronomy.» *Centaurus*: vol. 24, 1980.
- . «The Survival of Arabic Astronomy in Hebrew.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 3, no. 1, Spring 1979.
- and David Pingree. «Additional Astrological Almanacs from the Cairo Geniza.» *Journal of the American Oriental Society*: vol. 103, 1983.
- . «Astronomical Computations for 1299 from the Cairo Geniza.» *Centaurus*: vol. 25, 1982.
- . «More Horoscopes from the Cairo Geniza.» *Proceedings of the American Philosophical Society*: vol. 125, no. 2, April 1981.
- Grafton, Anthony. «Michael Maestlin's Account of Copernican Planetary Theory.» *Proceedings of the American Philosophical Society*: vol. 117, no. 6, December 1973.
- Grant, Edward. «Aristotle, Philoponus, Avempace and Galileo's Pisan Dynamics.» *Centaurus*: vol. 11, no. 2, 1965.
- Grosset - Grange, Henri. «Analyse des voyages d'Inde à Malacca.» *Navigation*: vol. 81, 1973.
- . «La Côte africaine dans les routiers nautiques arabes.» *Azania*: (Nairobi, British Institute in Eastern Africa): vol. 13, 1978.
- . «Noms d'étoiles, quelques termes particuliers.» *Arabica*: 1972; 1977 et 1979.
- . «La Science nautique arabe.» *Jeune marine*: nos. 16 à 29 sauf 22, 1977 à 1979.
- . «Une carte nautique arabe au moyen âge.» *Acta Geographica*: vol. 27, 1976.
- Hairetdinova. «On Spherical Trigonometry in the Medieval Near East and in Europe.» *Historia mathematica*: vol. 13, 1986.
- Hartner, Willy. «The Mercury Horoscope of Marcantonio Michiel of Venice:

- A Study in the History of Renaissance Astrology and Astronomy.» *Vistas in Astronomy*: vol. 1, 1955.
- . «Ptolemy, Azarquiel, Ibn al-Shātir and Copernicus on Mercury: A Study of Parameters.» *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 24, 1974.
- . «Trepidation and Planetary Theories: Common Features in Late Islamic and Early Renaissance Astronomy.» *Accad. Naz. dei Lincei, Fondazione Alessandro Volta, Atti dei Convegni*: vol. 13, 1971.
- Hawkins, G. S. and David A. King. «On the Orientation of the Ka'ba.» *Journal for the History of Astronomy*: vol. 13, 1982.
- Hermelink, H. «Tabulae Jahan.» *Archive for History of Exact Sciences*: vol. 2, 1964.
- Hogendijk, J. P. «Discovery of an 11th-Century Geometrical Compilation: The *Istiknāl* of Yūsuf al-Mu'taman Ibn Hūd, King of Saragossa.» *Historia Mathematica*: vol. 13, 1986.
- . «The Geometrical Parts of the *Istiknāl* of Yūsuf al-Mu'taman Ibn Hūd (11<sup>th</sup> Century): An Analytical Table of Contents.» (University of Utrecht, Department of Mathematics, Reprint no. 626, November 1990. Reprinted in: *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 41, 1991.
- Holmyard, E. J. «Maslama al-Majrīfī and the Rutbatu'l-Ḥakīm.» *Isis*: vol. 6, no. 18, 1924.
- Janin, Louis. «Le Cadran solaire de la Mosquée Umayyade à Damas.» *Centaurus*: vol. 16, no. 4, 1972.
- . «Quelques aspects récents de la gnomonique tunisienne.» *Revue de l'occident musulman et de la Méditerranée*: vol. 24, 1977.
- and David A. King. «Le Cadran solaire de la Mosquée d'Ibn Ṭūlūn au Caire.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 2, no. 2, November 1978.
- . «Ibn al-Shātir's *Ṣandūq al-Yawāqīt*: An Astronomical «Compendium».» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 1, no. 2, November 1977.
- Jensen, Claus. «Abū Naṣr Maṣṣūr's Approach to Spherical Astronomy as Developed in His Treatise «*The Table of Minutes*».» *Centaurus*: vol. 16, no. 1, 1971.
- Kennedy, Edward Stewart. «Geographical Latitudes in al-Idrīsī's World Map.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaft-*

ten: Bd. 3, 1986.

- . «Late Medieval Planetary Theory.» *Isis*: vol. 57, no. 189, Fall 1966.
- . «The Lunar Visibility Theory of Ya'qūb Ibn Ṭāriq.» *Journal of Near Eastern Studies*: vol. 27, 1968.
- . «The Sasanian Astronomical Handbook *Zīj-i Shāh* and the Astrological Doctrine of «Transit» (*Mamarr*).» *Journal of the American Oriental Society*: vol. 78, 1958.
- . «Spherical Astronomy in Kāshī's *Khāqānī Zīj*.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*: Bd. 2, 1985.
- . «A Survey of Islamic Astronomical Tables.» *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.): vol. 46, 1956.
- . «Two Persian Astronomical Treatises by Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī.» *Centaurus*: vol. 27, 1948.
- and David A. King. «Indian Astronomy in Fourteenth - Century Fez: The Versified *Zīj* of al-Qusunḡīnī.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 6, nos. 1 - 2, 1982.
- and M. H. Regier. «Prime Meridians in Medieval Islamic Astronomy.» *Vistas in Astronomy*: vol. 28, 1985.
- and Mardiros Janjanian. «The Crescent Visibility Table in al-Khwārizmī's *Zīj*.» *Centaurus*: vol. 11, no. 2, 1965.
- and Marie-Thérèse Debarnot. «Two Mappings Proposed by Bīrūnī.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*: Bd. 1, 1984.
- and Victor Roberts. «The Planetary Theory of Ibn al-Ṣhāṭir.» *Isis*: vol. 50, no. 161, September 1959.
- and Y. Id. «A Letter of al-Bīrūnī: Ḥabash al-Ḥasib's Analemma for the *Qibla*.» *Historia Mathematica*: vol. 1, 1974.
- Keuning, Johannes. «The History of Geographical Map Projections until 1600.» *Imago Mundi*: vol. 12, 1955.
- King, David A. «An Analog Computer for Solving Problems of Spherical Astronomy: The *Shakkāziya* Quadrant of Jamāl al-Dīn al-Māridīnī.» *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 24, 1974.
- . «Architecture and Astronomy: The Ventilators of Medieval Cairo and their Secrets.» *Journal of the American Oriental Society*: vol. 104, 1984.
- . «Astronomical Alignments in Medieval Islamic Religious Architec-

- ture.» *Annals of the New York Academy of Sciences*: vol. 385, 1982.
- . «The Astronomy of the Mamluks.» *Isis*: vol. 74, no. 274, December 1983.
- . «Al-Bazdawī on the Qibla in Early Islamic Transoxiana.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 7, nos. 1 - 2, 1983.
- . «The Earliest Islamic Mathematical Methods and Tables for Finding the Direction of Mecca.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften*: Bd. 3, 1986.
- . «Ibn Yūnus' Very Useful Tables for Reckoning Time by the Sun.» *Archive for History of Exact Sciences*: vol. 10, 1973.
- . «Al-Khalīlī's Auxiliary Tables for Solving Problems of Spherical Astronomy.» *Journal for the History of Astronomy*: vol. 4, 1973.
- . «Al-Khalīlī's Qibla Table.» *Journal of Near Eastern Studies*: vol. 34, no. 2, April 1975.
- . «Al-Khwārizmī and New Trends in Mathematical Astronomy in the Ninth Century.» *Occasional Papers on the Near East* (New York University, Hagop Kevorkian Center for Near Eastern Studies): vol. 2, 1983.
- . «Mathematical Astronomy in Medieval Yemen.» *Arabian Studies*: vol. 5, 1979.
- . «New Light on the *Zīj al-Ṣafā'ī* of Abū Ja'afar al-Khāzin.» *Centaurus*: vol. 23, 1980.
- . «The Sacred Direction in Medieval Islam: A Study of the Interaction of Science and Religion in the Middle Ages.» *Interdisciplinary Science Reviews*: vol. 10, 1985.
- . «Some Medieval Values of the Qibla at Cordova.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 2, 1978.
- . «A Survey of Medieval Islamic Shadow Schemes for Simple Timereckoning.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*: Bd. 4, 1987.
- . «Three Sundials from Islamic Andalusia.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 2, no. 2, November 1978.
- Kramers, J. H. «La Question Balḥī - Iṣṭahī - Ibn Ḥawqal et l'Atlas de l'Islam.» *Acta Orientalia*: vol. 10, 1932.
- Kühne, R. «La *Urḡza fi-l-ṭibb* de Sa'īd Ibn 'Abd Rabbihi.» *Al-Qanṭara*: vol. 1, 1980.

- Kunitzsch, Paul. «On the Authenticity of the Treatise on the Composition and Use of the Astrolabe Ascribed to Messahalla.» *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 31, 1981.
- . «Two Star Tables from Medieval Spain.» *Journal for the History of Astronomy*: vol. 11, 1980.
- . «Zur Stellung der Nautikertexte innerhalb der Sternnomenklatur der Araber.» *Der Islam*: vol. 43, 1967 et vol. 56, 1979.
- Langermann, Y. Tzvi. «The Book of Bodies and Distances of Ḥabash al-Ḥāsib.» *Centaurus*: vol. 28, 1985.
- Lorch, Richard P. «The Astronomical Instruments of Jābir Ibn Aflah and the Torquetum.» *Centaurus*: vol. 20, 1976.
- . «The Astronomy of Jābir Ibn Aflah.» *Centaurus*: vol. 19, no. 2, 1975.
- . «Nāṣir b. 'Abdallāh's Instrument for Finding the Qibla.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 6, nos. 1 - 2, 1982.
- . «The Qibla - Table Attributed to al-Khāzinī.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 4, no. 2, Fall 1980.
- Luckey, P. «Thābit b. Qurra's Buch über die ebenen Sonnenuhren.» *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik*: Abt. B, Bd. 4, 1937 - 1938.
- Makkī, Maḥmūd, 'Alī. «Ensayo sobre las aportaciones orientales en la España Musulmana y su influencia en la formación de la cultura, hispano-árabe.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos*: vols. 9 - 10, 1961 - 1962 and vols. 11 - 12, 1963 - 1964.
- Marín, Manuela. «Ṣaḥāba et jābi'ūn dans al-Andalus: Histoire et légende.» *Studia Islamica*: vol. 54, 1981.
- Martí, R. et M. Viladrich. «Las tablas de climas en los tratados de astrolabio del manuscrito 225 del scriptorium de Ripoll.» *Llull*: vol. 4, 1981.
- Martínez, L. «Teorías sobre las mareas según un manuscrito árabe del siglo XII.» *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras*: vol. 13, 1971 - 1975.
- Menéndez Pidal, Gonzalo. «Mozárabes y asturianos en la cultura de la Alta Edad Media en relación especial con la historia de los conocimientos geográficos.» *Boletín de la Real Academia de la Historia*: vol. 134, 1954.
- Mercier, R. «Studies in the Medieval Conception of Procession.» *Archives internationales d'histoire des sciences*: vol. 26, 1976 et vol. 27, 1977.
- Meyerhof, Max. «Esquisse d'histoire de la pharmacologie et botanique chez les

- musulmans d'Espagne.» *Al-Andalus*: vol. 3, 1935.
- Michel, Henri. «L'Astrolabe linéaire d'al-Tûsî.» *Ciel et terre* (Bruxelles): vol. 59, nos. 3 - 4, 1943.
- et A. Ben - Eli. «Un cadran solaire remarquable.» *Ciel et terre*: vol. 81, 1965.
- Millás Vallicrosa, José M<sup>a</sup>. «Los primeros tratados de astrolabio en España.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos*: vol. 3, 1955.
- Moody, Ernest A. «Galileo and Avèmpace: The Dynamics of the Leaning Tower Experiment.» *Journal for the History of Ideas*: vol. 12, no. 2, April 1951.
- Morelon, Régis. «Les Deux versions du traité de Thābit b. Qurra Sur le mouvement des deux lunaires.» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire*: vol. 18, 1988.
- . «Fragment arabe du premier livre du *Phaseis* de Ptolémée.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 5, nos. 1 - 2, 1981.
- Mžik, Hans von. «Idrīsi und Ptolemaus.» *Orientalistische Literaturzeitung*: Bd. 15, 1912.
- . «Ptolemaeus und die Karten der Arabischen Geographen.» *Mitt. d. K. K. geog. Ges. Wien*: Bd. 58, 1915.
- Nadvi, Syed Sulaiman. «Some Indian Astrolabe - Makers.» *Islamic Culture*: vol. 9, no. 4, October 1935.
- Nallino, Carlo Alfonso. «Il valore metrico del grado di meridiano secondo i geografi arabi.» *Cosmos di Guido Cora*: vol. 11, 1892 - 1893.
- . «Un mappamundo arabo disegnato nel 1579 da 'Alī Ibn Aḥmad al-Sharāfi di Sfax.» *Bolletino della Reale Società Geografica Italiana*: vol. 5, no. 5, 1916.
- Nau, M. F. «Le Traité sur l'astrolabe: Plan de Sévère Sabokt.» *Journal asiatique*: 9<sup>ème</sup> série, tome 13, 1899.
- Neugebauer, Otto. «An Arabic Version of Ptolemy's Parapegma from the *Phaseis*.» *Journal of the American Oriental Society*: vol. 91, no. 4, 1971.
- . «The Early History of the Astrolabe: Studies in Ancient Astronomy IX.» *Isis*: vol. 40, no. 121, August 1949.
- . «The Equivalence of Eccentric and Epicyclic Motion According to Apollonius.» *Scripta Mathematica*: vol. 24, 1959.
- . «Mathematical Methods in Ancient Astronomy.» *Bulletin of the*

- American Mathematical Society*: vol. 54, 1948.
- . «Thābit ben Qurra «On the Solar Year» and «On the Motion of the Eighth Sphere»» *Proceedings of the American Philosophical Society*: vol. 106, no. 3, June 1962.
- Petersen, Viggo M. «The Three Lunar Models of Ptolemy.» *Centaurus*: vol. 14, no. 1, 1969.
- Pines, Shlomo. «La Théorie de la rotation de la terre à l'époque d'al-Bīrūnī.» *Journal asiatique*: tome 244, 1956.
- Pingree, David. «The Fragments of the Works of al-Fazārī.» *Journal of Near Eastern Studies*: vol. 29, no. 2, April 1970.
- . «The Fragments of the Works of Ya'qūb Ibn Ṭāriq.» *Journal of Near Eastern Studies*: vol. 27, no. 2, April 1968..
- . «The Indian and Pseudo-Indian Passages in Greek and Latin Astronomical and Astrological Texts.» *Viator*: vol. 7, 1976.
- . «The *Liber Universus* of 'Umar Ibn al-Farrukhān al-Ṭabarī.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 1, no. 1, May 1977.
- Poch, M. D. «El concepto de quemazón en el *Libro de las Cruces*.» *Awraq*: vol. 3, 1980.
- Pouille, Emmanuel. «Jean de Murs et les tables alphonsines.» *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du moyen âge*: vol. 47, 1980.
- . «Théorie des planètes et trigonométrie au XV<sup>e</sup> siècle d'après un équatoire inédit, le sexagenarium.» *Journal des savants*: 1966.
- . «Le Traité d'astrolabe de Raymond de Marseille.» *Studi medievali*: vol. 5, 1964.
- Prémare, A. L. de. «Un andalou en Egypte à la fin du XV<sup>e</sup> siècle: Abū-l-Ṣalt de Dénia et son épître égyptienne.» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire*: vol. 8, 1964 - 1966.
- Puig, Roser. «Ciencia y técnica en la *Ihāta* de Ibn al-Jatīb: Siglos XIII y XIV.» *Dynamis*: vol. 4, 1984.
- . «Concerning the *ṣafīḥa shakkāziyya*» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*: Bd. 2, 1985.
- . «Dos notas sobre ciencia hispano - árabe a finales del siglo XIII en la *Ihāta* de Ibn al-Jatīb.» *Al-Qamṭara*: vol. 4, 1983.
- Rashed, Roshdi. «Problems of the Transmission of Greek Scientific Thought into Arabic: Examples from Mathematics and Optics.» *History of*

*Science*: vol. 27, 1989.

- . «As - Samaw'al, al-Bīrūnī et Brahmagupta: Les Méthodes d'interpolation.» *Arabic Sciences and Philosophy*: vol. 1, 1991.
- Renaud, H. P. J. «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. I. Les Ibn Bāso.» *Hespérís*: vol. 24, 1<sup>er</sup> - 2<sup>e</sup> trimestres, 1937.
- . «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. IV. Sur un passage d'Ibn Khaldūn relatif à l'histoire des mathématiques.» *Hespérís*: vol. 31, fascicule unique, 1944.
- . «Trois études d'histoire de la médecine arabe en occident: I. Le Musta'inī d'Ibn Beklāreš.» *Hespérís*: vol. 10, fascicule II, 1930.
- . «Un chirurgien musulman du royaume de Grenade: Muḥammad Aš-Šaḫra.» *Hespérís*: vol. 20, fascicules I-II, 1935.
- . «Un chirurgien musulman du royaume de Grenade: Note complémentaire.» *Hespérís*: vol. 27, fascicule unique, 1940.
- Richler, B. «Manuscripts of Avicenna's Kanon in Hebrew Translation.» *Koroth*: vol. 8, 1982.
- Richter - Bernburg, Lutz. «Al-Bīrūnī's *Maqāla fī taṣṭīḥ al-ṣunwar wa taḥfīkh al-Kuwar*: A Translation of the Preface with Notes and Commentary.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 6, 1982.
- Roberts, Victor. «The Solar and Lunar Theory of Ibn ash-Shāṭir: A Pre-Copernican Copernican Model.» *Isis*: vol. 48, no. 154, December 1957.
- Rodgers, R. H. «¿Yūniyūs o Columela en la España Medieval?» *Al-Andalus*: vol. 43, 1978.
- Rodríguez Molero, F. X. «Originalidad y estilo de la Anatomía de Averroes.» *Al-Andalus*: vol. 15, 1950.
- Rosińska, Grażyna. «Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī and Ibn al-Shāṭir in Cracow?» *Isis*: vol. 65, no. 227, June 1974.
- Ruska, Julius. «Neue Bausteine zur Geschichte der Arabischen Geographie.» *Geographische Zeitschrift*: Bd. 24, 1918.
- Saliba, George. «Arabic Astronomy and Copernicus.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*: Bd. 1, 1984.
- . «Ibn Sīnā and Abū 'Ubayd al-Jūzjānī: The Problem of the Ptolemaic Equant.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 4, no. 2, Fall 1980.
- . «The First Non - Ptolemaic Astronomy at the Maraghah School.» *Isis*:



- vol. 70, no. 254, December 1979.
- . «The Original Source of Qutb al-Dīn al-Shīrāzī's Planetary Model.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 3, no. 1, Spring 1979.
- . «Theory and Observation in Islamic Astronomy: The Work of Ibn al-Shāfir of Damascus (d. 1375).» *Journal for the History of Astronomy*: vol. 18, 1987.
- Samsó, Julio. «Astrology, Pre-Islamic Spain and the Conquest of al-Andalus.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos*: vol. 23, 1985 - 1986.
- . «Astronomica Isidoriana.» *Faventia*: vol. 1, 1979.
- . «Dos colaboradores científicos musulmanes de Alfonso X.» *Llull*: vol. 4, 1981.
- . «The Early Development of Astrology in al-Andalus.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 3, no. 2, Fall 1979.
- . «Ibn Hishām al-Lajmī y el primer jardín botánico en al-Andalus.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos en Madrid*: vol. 21, 1981 - 1982.
- . «Maslama al-Majrīfī and the Alphonsine Book on the Construction of the Astrolabe.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 4, no. 1, Fall 1980.
- . «Notas sobre la trigonometría esférica de Ibn Mu'ād.» *Awraq*: vol. 3, 1980.
- et J. Martínez Gázquez. «Algunas observaciones al texto del Calendario de Córdoba.» *Al-Qanṭara*: vol. 2, 1981.
- et M. A. Catala. «Un instrumento astronómico de raigambre zarqālī: El cuadrante shakkāzī de Ibn Ṭībugā.» *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona*: vol. 13, 1971 - 1975.
- Sarton, G. «Early Observations of the Sun-Spots?» *Isis*: vol. 37, 1947.
- Schoy, Karl. «Abhandlung des al-Ḥasan Ibn al-Ḥasan Ibn al-Haitham (alhazen) über die Bestimmung der Richtung der Qibla.» *Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft*: Bd. 75, 1921.
- . «Abhandlung von al-Fadl b. Ḥatīm al-Nayrīzī über die Richtung der Qibla.» *Sitzungsberichte der math. - phys. Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München*: 1922.
- . «Sonnenuhren der Spätarabischen Astronomie.» *Isis*: vol. 6, 1924.
- Seco de Lucena Paredes, L. «El ḥāfiḍ Riḍwān, la madraza de Granada y las

- murallas del Albayzín.» *Al-Andalus*: vol. 21, 1956.
- Sédillot, L. A. «Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes.» *Mémoires de l'académie royale des inscriptions et belles-lettres de l'institut de France*: vol. 1, 1844.
- Stern, S. M. «A Letter of the Byzantine Emperor to the Court of the Spanish Umayyad Caliph al-Hakam.» *Al-Andalus*: vol. 26, 1961.
- Sverdlow, Noël M. «Aristotelian Planetary Theory in the Renaissance: Giovanni Battista Amico's Homocentric Spheres.» *Journal for the History of Astronomy*: vol. 3, 1972.
- . «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary.» *Proceedings of the American Philosophical Society*: vol. 117, no. 6, December 1973.
- Tekeli, S. «(The) Equatorial Armilla of Iz(z) al-Din b. Muhammad al-Wafa'i and (the) Torquetum.» *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih - Coğrafya Fakültesi Dergisi*: vol. 18, 1960.
- Terès, E. «'Abbās b. Firnās.» *Al-Andalus*: vol. 25, 1960.
- . «Ibn al-Šamir, poeta astrólogo en la corte de 'Abd al-Rahmān II.» *Al-Andalus*: vol. 24, 1959.
- Thorndike, Lynn. «Sexagenarium.» *Isis*: vol. 42, 1951.
- Toomer, G. J. «Prophatius Jadaeus and the Toledan Tables.» *Isis*: vol. 64, no. 223, September 1973.
- . «The Solar Theory of az-Zarqāl: A History of Errors.» *Centaurus*: vol. 14, no. 1, 1969.
- . «A Survey of the Toledan Tables.» *Osiris*: vol. 15, 1968.
- Torres Balbás, Leopoldo. «Las norias fluviales en España.» *Al-Andalus*: vol. 5, 1940.
- Ünver, A. S. «Osmanlı Türkerinde İlim Tarihinde Muvakkithaneler.» *Atatürk Konferansları*: vol. 5, 1975.
- Vernet, Juan. «Astrología y política en la Córdoba del siglo X.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos*: vol. 15, 1970.
- . «La Supervivencia de la astronomía de Ibn al-Bannā.» *Al-Qanṭara*: vol. 1, 1980.
- Viladrich, Merce. «On the Sources of the Alphonsine Treatise Dealing with the Construction of the Plane Astrolabe.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 6, 1982.

———. «Dos capítulos de un libro perdido de Ibn al-Samh.» *Al-Qantara*: vol. 7, 1986.

Wieber, Reinhard. «Überlegungen zur Herstellung eines Seekartogramms anhand der Angaben in den Arabischen Nautikertexten.» *Journal for the History of Arabic Science*: vol. 4, no. 1, Fall, 1980.

Wiedemann, Eilhard E. and J. Frank. «Die Gebetszeiten im Islam.» *Sitzungsberichte der Physikalisch - medizinischen Sozietät in Erlangen*: Bd. 58, 1926.

——— and Th. W. Juynboll. «Avicennas Schrift über ein von ihm ersonnenes Beobachtungsinstrument.» *Acta Orientalia*: Bd. 5, 1927.

Würschmidt, J. «Die Zeitrechnung im Osmanischen Reich.» *Deutsche Optische Wochenschrift*: 1917.

#### Conferences

*Actas de las Jornadas de Cultura Árabe e Islámica (1978)*. Madrid: [n. pb.], 1981.

*Actas de las II Jornadas de Cultura Árabe e Islámica*. Madrid: [n. pb.], 1985.

*Actas del II Coloquio Hispano-Tunecino de Estudios Históricos*. Madrid: [n. pb.], 1973.

*Actas del XII Congreso de la U.E.A.I.* Madrid: [n. pb.], 1986.

*Actas del XII Congresso Internazionale de Filosofia XI*. Florence: [n. pb.], 1960.

*Actes du X<sup>e</sup> Congrès international d'histoire des sciences*. Paris: [s. n.], 1964.

*Colloquia Copernicana*. Wrocław: Ossolineum, 1975. (Studia Copernicana; 13)

Dizer, Muammer (ed.). *Proceedings of the International Symposium on the Observations in Islam, Istanbul, 19-23 September 1977*. Istanbul: [n. pb.], 1980.

International Astronomical Union, Colloquium (91st: 1985: New Delhi, India). *History of Oriental Astronomy*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1987.

*Premier colloque international sur l'histoire des mathématiques arabes*. Alger: [s. n.], 1988.

*Proceedings of the First International Symposium for the History of Arabic Science...* 1976. Aleppo: University of Aleppo, Institute for the History of Arabic Science, 1978.

*Proceedings of the XVI<sup>th</sup> International Congress for the History of Science*. Bucharest: [n. pb.], 1981.

Sabra, A. I. (ed.). *Proceedings of the Conference on Islamic Intellectual History, Harvard University, May 1988.*

*Segundo Congreso Internacional de Estudios sobre las Culturas del Mediterráneo Occidental.* Barcelona: [n. pb.], 1978.

Seminar on Early Islamic Science, University of Manchester, 1, 1976.

#### *Theses*

Carabeza, J. M. «Ahmad b. Muhammad b. Ḥayfāʾ al-Ishbili: Introduccion, estudio y traduccion, con glosario.» (Unpublished Ph. D. Thesis, University of Granada, 1988).

Cárdenas, A. J. «A Study and Edition of the Royal Scriptorium Manuscript of *El Libro del Saber de Astrologia* by Alfonso X, el sabio'» (Ph. D. Dissertation, University of Wisconsin, 1974). 3 vols. (University Microfilms, Ann Arbor).

Irani, Rida A. K. «The *Jadwal al-Taqwīm* of Ḥabash al-Ḥāsib.» (Unpublished M. A. Dissertation, American University of Beirut, 1956).

Ragep, Faiz Jamil. «Cosmography in the Tadhkira of Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī.» (Unpublished Doctoral Dissertation, Harvard University, Department of History of Sciences, 1982).

Swerdlow, Noël M. «Ptolemy's Theory of the Distances and Sizes of the Planets: A Study of the Scientific Foundations of Medieval Cosmology.» (Doctoral Dissertation, Yale University, 1968). (University Microfilms International 69-8442).







منذ أن رأى تاريخ العلوم النور كحقول معرفة في القرن الثامن عشر أخذ مكانه في القلب من «فلسفة التنوير»، لم ينقطع اهتمام فلاسفة ومؤرخي العلوم بالعلم العربي وتوسلهم لدراسته، أو لدراسة بعض فصوله على الأقل. فعلى غرار كوندورسيه، رأى بعضهم في العلم العربي استمراراً لتقدم «الأنوار» في فترة هيمنت فيها «الخرافات والظلمات»؛ أما بعضهم الآخر مثل مونتكلا خاصة، فقد اعتبر دراسته ضرورة لا لرسم اللوحة التاريخية الإجمالية لتطور العلوم فحسب، بل لتثبيت وقائع تاريخ كل من الفروع العلمية أيضاً. لكن الفلاسفة والمؤرخين لم يتلقوا من العلم العربي سوى أصدا حلتها إليهم الترجمات اللاتينية القديمة.

من هنا، فإن هذا الكتاب قد صمم وحقق لكي يكون لبنة في صرح كتابة تاريخ العلم العربي بشكل موثق توثيقاً كاملاً. إنه في الواقع تركيب أول لم ينفذ مطلقاً من قبل على هذا الشكل. لقد أضفى هذا التركيب ممكناً اليوم نتيجة الأبحاث التي ما زالت تتراكم منذ القرن المنصرم، والتي نشطت بدءاً من خمسينيات القرن الحالي. وقد التمسنا إسهامات ذوي الاختصاص في كل من الفصول الثلاثين التي تؤرخ لأصناف العلوم العربية وتوثق لها بالصور والجداول. ويشكل هؤلاء فريقاً دولياً من الاختصاصيين، من أوروبا وأمريكا والشرق الأوسط وروسيا لإنجاز هذا الكتاب على نحو مرجعي حق يغطي مجالات مختلفة كالفلك والرياضيات والبصريات والطب والموسيقى والملاحة والمؤسسات العلمية. إن القارئ سيجد نفسه أمام كتاب في تاريخ العلم على امتداد حوالى سبعة من القرون.

وتشتمل موسوعة تاريخ العلوم العربية على ثلاثة أجزاء:

الجزء الأول: علم الفلك النظري والتطبيقي.

الجزء الثاني: الرياضيات والعلوم الفيزيائية.

الجزء الثالث: الثقافة – الكيمياء – علوم الحياة.

## مركز دراسات الوحدة العربية

بناية «سادات تاور» شارع ليون

ص.ب: ٦٠٠١ - ١١٣ - بيروت - لبنان

تلفون: ٨٦٩١٦٤ - ٨٠١٥٨٢ - ٨٠١٥٨٧

برقياً: «مرعوي» - بيروت

فاكس: ٨٦٥٥٤٨ (٩٦١١)